



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

---

# **OPACIDAD, TRANSLUCIDEZ Y FLUORESCENCIA DEL DIÓXIDO DE ZIRCONIO MONOLITICO MODIFICADO MEDIANTE LA TÉCNICA DE STAINS FRENTE A UNA CERÁMICA DE DISILICATO DE LITIO**

**Luis Fernando Espitia Parra**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Odontología

Posgrado de Rehabilitación Oral

Bogotá D.C., Colombia

2014

# **OPACIDAD, TRANSLUCIDEZ Y FLUORESCENCIA DEL DIÓXIDO DE ZIRCONIO MONOLITICO MODIFICADO MEDIANTE LA TÉCNICA DE STAINS FRENTE A UNA CERÁMICA DE DISILICATO DE LITIO**

**Luis Fernando Espitia Parra**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Especialista en Rehabilitación Oral**

Director (a):

Dr. Manuel Roberto Sarmiento Limas

Codirector (a):

Dr. Gonzalo Amaya Rey

Línea de Investigación:

Materiales Cerámicos

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Materiales Dentales - GRIMAD

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Odontología, Departamento de Salud Oral

Bogotá D.C., Colombia

2014

## *Dedicatoria*

*A Dios que siempre pone cada cosa en mi vida para seguir el camino que quiere de mí, porque nunca me dejó solo y mantuvo mis fuerzas; porque soy un privilegiado de Él.*

*A mi papá, mi mamá, Juanca y Lina que son mi fuerza, mi motivación, mis amigos. Gracias por aguantar como valientes todo esto, sin reproches, por poner la frente para cubrirme siempre, por dejarlo absolutamente todo para ayudarme, por creer en mí y por llenarme de coraje con su ejemplo en los momentos difíciles. Gracias, la misión está cumplida y ahora soy yo quien recibe el testigo por ustedes.*

## Agradecimientos

A los Doctores Manuel Roberto Sarmiento y Gonzalo Amaya, entidades reconocidas y precursores en el tema de materiales cerámicos que pusieron todo su conocimiento y creatividad a mi servicio para sacar este proyecto de la mejor manera, y que durante la elaboración de este más que profesores fueron como padres y amigos.

A la casa comercial Ivoclar Vivadent por facilitarnos los materiales y los equipos necesarios para el desarrollo de todo el proyecto.

A Diana Delgado, técnico de Ivoclar Vivadent y al Doctor Ricardo Enciso quienes con sus conocimientos y creatividad nos ayudaron directamente en la obtención de las muestras.

A los Departamentos de Física y Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia por permitirnos emplear sus laboratorios para las pruebas finales.

A Jhon Pavas, asistente de laboratorio de Espectrofotometría por brindarnos su ayuda en el manejo del espectrofotómetro y en la obtención de los resultados de las mediciones.

Al profesor Cesar Sierra quien con su gran disposición para ayudar, nos colaboró con la parte de fluorescencia.

## Resumen

### TITULO:

Opacidad, translucidez y fluorescencia del dióxido de zirconio monolítico modificado mediante la técnica de stains frente a una cerámica de disilicato de litio

### RESUMEN:

*Objetivo.* El objetivo de este estudio fue analizar la translucidez, opacidad y fluorescencia del dióxido de zirconio monolítico modificado por caracterización bajo la técnica de stains, frente a una cerámica de disilicato de litio y determinar si la técnica de stains resulta útil para lograr mejores resultados estéticos para este tipo de restauraciones. *Métodos:* Veinte muestras fueron obtenidas de Zirconia monolítica y divididas en 2 grupos (n=10). El primer grupo tenía muestras de dióxido de zirconio monolítico sinterizadas sin modificar y el segundo grupo compuesto por dióxido de zirconio monolítico coloreado con stains. Diez muestras fueron obtenidas de cerámica vítrea disilicato de litio como grupo control. El color y la distribución espectral de todas las muestras fueron medidas por un espectrofotómetro de reflectancia para determinar valores de transmitancia, parámetros de translucidez y valores de CIE  $L^*a^*b^*$ . Para la medición de la fluorescencia de manera cualitativa se empleó una lámpara de UV con una emisión de onda larga de 365 nm y se compararon las muestras fotográficamente. La relación entre los grupos y las variables se evaluó mediante ANOVA, prueba de correlaciones múltiples de Tukey y un análisis de correlación. *Resultados:* Se presentaron diferencias significativas ( $p<0,05$ ) en cuanto a valores de TP y transmitancia en los tres grupos. El disilicato de litio presentó valores de TP =24,9, zirconia no coloreado TP=17,8 y zirconia modificada con stains TP=20, estableciendo diferencias significativas entre los dos grupos de Zirconia. En fluorescencia fue evidente visualmente el mejor comportamiento del disilicato de litio seguido por el grupo de zirconia modificada con stains. Se encontró una relación fuerte ( $p<0,05$ ) entre el TP y el valor de CIE  $L^*$ . *Conclusiones:* La translucidez, la opacidad y la fluorescencia de dióxido de zirconio monolítico estuvieron influenciadas significativamente por la aplicación de stains. Se considera que las propiedades ópticas del dióxido de zirconio no se acercan a las del disilicato de litio.

**Palabras clave:** Dióxido de Zirconio Monolítico, Disilicato de Litio, Color, Translucidez, Opacidad, Fluorescencia, Espectrofotometría

## Abstract

### TITLE:

Opacity, translucency and fluorescence monolithic zirconia modified by the technique of stains against a lithium disilicate glass ceramic

### ABSTRACT:

*Objective.* The aim of this study was to analyze the translucency, opacity and fluorescence monolithic zirconia modified under characterization technique stains, compared to a lithium disilicate glass ceramic and determine if the technique is useful stains for better esthetic results for this type of restoration. *Methods.* Twenty specimens were obtained from monolithic zirconia and divided into 2 groups (n = 10). The first group had specimens sintered zirconium dioxide unmodified monolithic and the second group comprising zirconium dioxide monolithic with colored stains. Ten samples were obtained from lithium disilicate glass ceramic as a control group. The color and the spectral distribution of all samples were measured by a reflectance spectrophotometer to determine the transmittance values, translucency parameter (TP) values and CIE L \* a \* b \*. For measuring qualitatively fluorescence UV lamp was used with a long wavelength emission of 365 nm and the samples were compared photographically. The relationship between groups and variables were evaluated by ANOVA, Tukey multiple correlations and correlation analysis. *Results:* Significant differences ( $p < 0.05$ ) in values of TP and transmittance in the three groups were presented. Lithium disilicate values presented TP = 24.9, zirconia TP = 17.8 uncolored zirconia modified with stains and TP = 20, establishing significant differences between the two groups of Zirconia. Fluorescence was evident visually the best performance of lithium disilicate followed by the group of modified zirconia stains. A strong relationship ( $p < 0.05$ ) between the TP and CIE L \* value was found. *Conclusions:* The translucency, opacity and fluorescence monolithic zirconia were influenced significantly by the application of stains. It is considered that the optical properties of zirconia not approach those of lithium disilicate.

**Keywords:** Monolithic Zirconia, lithium disilicate glass ceramic, Color, Translucency, Opacity, Fluorescence, Spectrophotometry

## Contenido

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Resumen .....</b>                            | <b>V</b>    |
| <b>Lista de imágenes .....</b>                  | <b>X</b>    |
| <b>Lista de tablas .....</b>                    | <b>XII</b>  |
| <b>Lista de gráficos .....</b>                  | <b>XIII</b> |
| <b>Lista de figuras.....</b>                    | <b>XIV</b>  |
| <b>Introducción .....</b>                       | <b>1</b>    |
| <b>Problema de investigación .....</b>          | <b>4</b>    |
| <b>Objetivos .....</b>                          | <b>6</b>    |
| 2.1    Objetivo general.....                    | 6           |
| 2.2    Objetivos específicos.....               | 6           |
| <b>Justificación .....</b>                      | <b>7</b>    |
| <b>Hipótesis nula .....</b>                     | <b>9</b>    |
| <b>Marco teórico .....</b>                      | <b>10</b>   |
| 5.1    Dióxido de Zirconio .....                | 10          |
| 5.1.1    Propiedades microestructurales .....   | 11          |
| 5.1.2    Degradación por baja temperatura ..... | 13          |
| 5.1.3    Biocompatibilidad .....                | 14          |
| 5.1.4    Zirconia y CAD/CAM .....               | 15          |

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| 5.1.5  | Cementación y adhesión.....                              | 16        |
| 5.1.6  | Evaluación clínica y complicaciones.....                 | 16        |
| 5.1.7  | Propiedades ópticas del dióxido de zirconio .....        | 17        |
| 5.1.8  | Dióxido de zirconio monolítico .....                     | 18        |
| 5.2    | Cerámicas vítreas de disilicato de litio.....            | 18        |
| 5.2.1  | Cristalización del disilicato de litio.....              | 19        |
| 5.2.2  | Composición química.....                                 | 20        |
| 5.3    | Fenómenos de la luz .....                                | 21        |
| 5.3.1  | Propiedades del color .....                              | 21        |
| 5.3.2  | Percepción del color.....                                | 23        |
| 5.3.3  | CIE L*a*b* .....   | 24        |
| 5.3.4  | Espacio cromático dental.....                            | 25        |
| 5.3.5  | Diferencia del color .....                               | 26        |
| 5.3.6  | Relación entre evaluación visual e instrumental.....     | 26        |
| 5.3.7  | Características físicas de las cerámicas dentales .....  | 27        |
|        | Estabilidad del Color .....                              | 27        |
| 5.3.8  | Consideraciones en la selección del color.....           | 29        |
| 5.3.9  | Sistemas de medición del color .....                     | 30        |
| 5.3.10 | Pigmentos o stains .....                                 | 37        |
| 5.3.11 | Pigmentos a base de Espinela.....                        | 41        |
| 5.3.12 | Fluorescencia y pigmentos.....                           | 42        |
|        | <b>Aspectos Metodológicos .....</b>                      | <b>44</b> |
|        | <b>Materiales y Métodos .....</b>                        | <b>46</b> |
| 7.1    | Materiales dentales .....                                | 46        |
| 7.1.1  | Marcas de cerámicas.....                                 | 46        |
| 7.1.2  | Matrices .....   | 48        |
| 7.1.3  | Material de manipulación de las muestras.....            | 49        |
| 7.1.4  | Escaneado y maquinado de las muestras de Zenostar® ..... | 49        |
| 7.1.5  | Hornos de sinterización y glaseado de las muestras ..... | 50        |
| 7.2    | Dispositivos de medida .....                             | 51        |



|                              |   |            |
|------------------------------|---|------------|
| 7.3                          | Método experimental .....   | 51         |
| 7.3.1                        | Ambiente de trabajo .....   | 51         |
| 7.3.2                        | Preparación y manipulación de las muestras de Dióxido de Zirconio ..... | 52         |
| 7.3.3                        | Fresado y separación de las muestras .....                              | 55         |
| 7.3.4                        | Sinterización de las muestras.....                                      | 57         |
| 7.3.5                        | Maquillaje con stains.....  | 59         |
| 7.3.6                        | Glaseado.....   | 61         |
| 7.3.7                        | Obtención de muestras de disilicato de litio.....                       | 64         |
| 7.3.8                        | Lecturas de espectrofotometría.....                                     | 68         |
| 7.3.9                        | Ubicación del color en el espacio CIE L*a*b* .....                      | 70         |
| 7.3.10                       | Determinación de la Fluorescencia .....                                 | 71         |
| <b>Resultados</b> .....      |   | <b>74</b>  |
| 8.1                          | Valoración de pruebas estadísticas empleadas .....                      | 74         |
| 8.2                          | Comparación por transmitancia.....                                      | 76         |
| 8.3                          | Comparación por reflectancia.....                                       | 81         |
| 8.4                          | Valores para CIE L*a*b* en reflectancia sobre fondo blanco y negro..... | 83         |
| 8.5                          | $\Delta E^*_{ab}$ entre grupos.....                                     | 84         |
| 8.6                          | Parámetros de translucidez (TP) .....                                   | 84         |
| 8.7                          | Comparación de valores CIE L*a*b* .....                                 | 88         |
| 8.8                          | Análisis de Correlación entre Variables .....                           | 89         |
| 8.9                          | Fluorescencia.....  | 94         |
| <b>Discusión</b> .....       |   | <b>96</b>  |
| <b>Conclusiones</b> .....    |   | <b>103</b> |
| <b>Recomendaciones</b> ..... |   | <b>104</b> |
| <b>Bibliografía</b> .....    |   | <b>105</b> |

## Lista de imágenes

|   |    |
|---|----|
| <i>Imagen 1: Presentación Comercial de Zenostar® en colores pure, light, médium, intense, sun, sun chroma</i> | 47 |
| <i>Imagen 2: Presentación comercial de las pastillas de e.max press HT A2</i>                                 | 48 |
| <i>Imagen 3: Escaner D810 Mini Wieland®</i>   | 49 |
| <i>Imagen 4: Digitalización del modelo con la preparación para la carilla</i>                                 | 53 |
| <i>Imagen 5: Configuración del espesor de la "carilla" en 0,6mm</i>   | 53 |
| <i>Imagen 6: Modelado de la carilla y vista tridimensional</i>  | 54 |
| <i>Imagen 7: Maquina de fresado ZENOTEC select</i>  | 55 |
| <i>Imagen 8: sistema interno para posicionamiento de discos de ZENOTEC</i>                                    | 56 |
| <i>Imagen 9: Discos extraídos con las muestras en posición</i>  | 56 |
| <i>Imagen 10: Muestras extraídas del disco</i>  | 57 |
| <i>Imagen 11: Horno de sinterización Programat S1</i>   | 58 |
| <i>Imagen 12: Recolección de muestras</i>   | 58 |
| <i>Imagen 13: Muestras sinterizadas</i>   | 59 |
| <i>Imagen 14: Maquillaje con stains del Zenostar Art Module</i>   | 61 |
| <i>Imagen 15: Aplicación del glaze para las muestras</i>  | 63 |
| <i>Imagen 16: Cocción de glaseado en PROGRAMAT P500</i>   | 63 |
| <i>Imagen 17: Muestras de Zenostar modificadas con stains</i>   | 64 |
| <i>Imagen 18: Preparación y montaje de las muestras en el anillo de inyección</i>                             | 65 |
| <i>Imagen 19: Colocación del revestimiento</i>  | 65 |
| <i>Imagen 20: Preparación del revestimiento</i>   | 66 |
| <i>Imagen 21: Pastillas de e.max Press de alta translucidez empleadas para el estudio</i>                     | 67 |
| <i>Imagen 22: Espectrofotómetro Cary 5000</i>   | 69 |
| <i>Imagen 23: Esfera integradora de reflectancia</i>  | 69 |
| <b>Imagen 24: Porta muestras para transmitancia</b>   | 69 |
| <i>Imagen 25: Lampara de luz UV de onda larga Spectroline®</i>  | 72 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Imagen 26: Fluorescencia de las muestras aún sin excitación</i>                       | 94 |
| <i>Imagen 27: Fluorescencia de las muestras al ser excitadas a 365 nm</i>                | 94 |
| <i>Imagen 28: Fluorescencia de las muestras de cada grupo al ser excitadas a 365 nm.</i> | 95 |

## Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla 1: Sistemas de maquinado CAD/CAM actualmente en el mercado. Miyazaki, 2013.</i>              | 15 |
| <i>Tabla 2: Composición del disilicato de litio. Peall. 1993</i>                                      | 20 |
| <i>Tabla 3: Escala ampliada de Clasificación Visual (EVRSAM). Jhonston y Kao</i>                      | 27 |
| <i>Tabla 5: Resumen estadístico para Transmitancia</i>  | 78 |
| <i>Tabla 6: Tabla de Medias para Transmitancia por Material con intervalos de confianza del 95,0%</i> | 78 |
| <i>Tabla 7: Tabla ANOVA para transmitancia</i>  | 79 |
| <i>Tabla 8: Pruebas de Múltiple Rangos para Transmitancia por Material</i>                            | 80 |
| <i>Tabla 9: Media y desviación estándar (SD) para valores de CIE L*a*b* de cada grupo</i>             | 83 |
| <i>Tabla 10: Diferencias de color entre pares de grupos</i>   | 84 |
| <i>Tabla 11: Análisis estadístico para el parámetro de translucidez</i>                               | 84 |
| <i>Tabla 12: Tabla de Medias para PT por Material con intervalos de confianza del 95,0%</i>           | 85 |
| <i>Tabla 13: ANOVA para PT por Material</i>   | 86 |
| <i>Tabla 14: Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD</i>  | 87 |
| <i>Tabla 15: Pruebas de Múltiples Rangos para PT por Material</i>                                     | 87 |
| <i>Tabla 16: Resumen de estadísticos para Zenostar no coloreado</i>                                   | 89 |
| <i>Tabla 17: Correlaciones entre variables</i>  | 90 |
| <i>Tabla 18: Resumen de estadísticos para Zenostar coloreado</i>                                      | 91 |
| <i>Tabla 19: Correlación entre variables para Zenostar coloreado</i>                                  | 91 |
| <i>Tabla 20: Resumen de estadísticos para Disilicato de Litio e.max press</i>                         | 92 |
| <i>Tabla 21: Correlaciones estadísticas del disilicato de litio</i>                                   | 93 |

## Lista de gráficos

|  |    |
|--|----|
| <i>Gráfica 1: Porcentaje de Transmitancia del dióxido de zirconio monolítico sin modificación con stains</i>           | 76 |
| <i>Gráfica 2: Porcentaje de Transmitancia del dióxido de zirconio monolítico modificado mediante técnica de Stains</i> | 76 |
| <i>Gráfica 3: Porcentaje de Transmitancia del Disilicato de Litio</i>  | 77 |
| <i>Gráfica 4: Comparación de espectros de transmitancia de los tres tipos de cerámicas</i>                             | 77 |
| <i>Gráfica 5: Porcentaje de reflectancia de dióxido de zirconio monolítico sin modificación con stains</i>             | 81 |
| <i>Gráfica 6: Porcentaje de Reflectancia dióxido de Zirconio monolítico modificado con stains</i>                      | 81 |
| <i>Gráfica 7: Porcentaje de reflectancia de disilicato de litio</i>  | 82 |
| <i>Gráfica 8: Comparación de espectros en reflectancia de la media de los tres grupos</i>                              | 83 |
| <i>Gráfica 9: Translucidez de los tres grupos de cerámicas</i>   | 85 |
| <i>Gráfica 10: Valores de CIE <math>L^*a^*b^*</math> para los tres tipos de cerámicas</i>                              | 88 |
| <i>Gráfica 11: Correlaciones Zenostar No Coloreado</i>   | 89 |
| <i>Gráfica 12: Correlaciones Zenostar coloreado</i>  | 90 |
| <i>Gráfica 13: Correlaciones del Disilicato de Litio e.max press</i>   | 92 |

## Lista de figuras

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Figura 1: Fases cristalográficas del zirconio. Tomada de Gallino F1, Di Valentin C, Pacchioni G. Band gap engineering of bulk ZrO<sub>2</sub> by Ti doping. Phys Chem Chem Phys. 2011 Oct 21;13(39):17667-75.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figura 2: Hipótesis 1 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.....</i>   | <i>13</i> |
| <i>Figura 3: Hipotesis 2 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.....</i>   | <i>14</i> |
| <i>Figura 4: Hipotesis 3 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.....</i>   | <i>14</i> |
| <i>Figura 5: Longitudes de onda del espectro de luz visible. Tomado de astronomia2009.es .....</i>   | <i>22</i> |
| <i>Figura 6: Escala CIELab. Tomado de gamafix.it .....</i>   | <i>24</i> |
| <i>Figura 7: Guía Vitapan Classical .....</i>  | <i>31</i> |
| <i>Figura 8: Guía Chromascop.....</i>  | <i>32</i> |
| <i>Figura 9: Guía Vita 3D Master .....</i>   | <i>33</i> |

## Introducción

Durante todo el devenir de la historia no ha sido en vano el paso del hombre por este planeta. Con el transcurrir de los años, las personas se han visto en la obligación de crear, inventar nuevas cosas para lograr una adaptación siquiera óptima al entorno en el cual viven y se desarrollan. Las crecientes necesidades y la evolución misma del ser humano ha desarrollado la capacidad de generar nuevo conocimiento para emplear de forma útil y benéfica en el sentido más altruista, los recursos que nos brinda la naturaleza. Y en esta búsqueda de desarrollar y crear cosas han surgido problemas y dificultades a cada nueva situación, y sucede esto cuando el hombre pretende por sí mismo modificar la naturaleza y darle formas que no han sido previamente establecidas. En la mayoría de casos estos nuevos inventos pretenden no solo alterar las formas nativas sino pasar por encima de ellas, violar las leyes naturales, y es justo ahí cuando vienen las situaciones de precariedad y de fracaso.

En el largo camino acumulado de la existencia humana poco a poco se han plasmado enseñanzas, y tal vez la más importante es que nada funciona tan perfecto y tan armónicamente como la naturaleza. Es impactante notar como la Creación Divina hace que cada parte de la materia tenga una función específica, cada forma tenga una razón de ser, cada textura, sabor, olor, tenga una explicación única y a veces incomprensible, para que todo esto se dé en un estricto balance que conserva un equilibrio idóneo para la organización de la vida. El hombre se ha dado cuenta de esto, y es por esta razón que las tendencias de diseño e ingeniería hoy en día están enfocadas a imitar la naturaleza, a simular el funcionamiento *per se* de las cosas.

En el campo de la odontología y más específicamente de la restauración dental las cosas no son diferentes. Tratar de asemejar la estructura dental no ha resultado nada fácil, no solo por la similitud a la vista que pueda ofrecer una restauración, sino también porque la composición del diente como tal, le brinda ciertas características mecánicas y funcionales únicas a este tejido,

asociado a un amalgamiento de múltiples proteínas, células especializadas, formación de tejidos maduros y procesos metabólicos particulares. Es por esto que la tendencia actual en la prostodoncia está fundamentada en la necesidad de ofrecerle al paciente rehabilitaciones que se asemejen a lo que previamente se ha perdido, a lo que pertenecía a su estado natural, principalmente en dos aspectos esenciales: función y estética.

Durante un largo tiempo hemos contado con materiales que han demostrado una gran confiabilidad como materiales restauradores tales como el oro, las aleaciones de metales nobles y no nobles, que han evidenciado unas propiedades mecánicas entre aceptables y excelentes, pero que en cuanto a su apariencia no son la mejor opción. Existen otros como los polímeros que a pesar de combinar una excelente estética y unas buenas propiedades mecánicas tienen indicaciones muy específicas además de una poca prolongación de su vida óptima a través del tiempo.

Como es claro el equilibrio entre la estética y la función no ha sido fácil de encontrar. De un tiempo atrás contamos con los materiales cerámicos que se acercan en gran medida a asemejar las características de la estructura dental misma. En este desarrollo han surgido las cerámicas feldespáticas, las cerámicas vítreas asociadas a refuerzos de leucita, disilicato de litio o fluorapatita, las cerámicas a bases de óxidos principalmente de magnesio y aluminio entre otros. Los resultados estéticos y de afinidad visual con un diente natural no solo son notables sino casi perfectos y la durabilidad en este caso es un factor a favor, sin embargo su resistencia mecánica aunque es lo suficientemente óptima, no corresponde con las ventajas que puede brindar una restauración metálica, además de implicar un gasto biológico mucho más alto en cuanto a pérdida de tejido dental sano, para lograr el espesor suficiente para una adecuada resistencia a los distintos tipos de fuerzas.

Las necesidades siguen apremiando y la búsqueda de nuevos materiales no cesa. Ante este panorama surge un nuevo material: el Zirconio. Este material que en su forma inicial está conjugado como un metal tiene una característica que lo hace especial, es de color blanco para su presentación como dióxido de zirconio en cavidad oral. Al tener las propiedades similares a las de un metal, enmarcado por unos valores superlativos de resistencia y dureza y al ser de una



aparición mucho más agradable se consideró que era el material ideal para ser empleado como una cerámica de estructura en restauraciones de coronas completas y prótesis fija, y se dice que apenas de estructura porque aunque es blanco presenta un problema: su alta opacidad. Es por esto que su uso entonces se vio condicionado a estar acompañado de una cerámica de blindaje que lograra una mayor translucidez, opacidad, fluorescencia, opalescencia entre otras, en la búsqueda de una mayor semejanza del diente natural.

Al tiempo que se iban diseñando y colocando cada vez más estas restauraciones y se iban haciendo más populares, también se hacían notables dos situaciones particulares repetitivas pero de la misma naturaleza: se estaba dando un desprendimiento de la cerámica de blindaje de la estructura del dióxido de zirconio generando una falla adhesiva o se daba una fractura de la cerámica de blindaje misma caracterizada por una falla cohesiva. Aparentemente su diferencia en cuanto a resistencia los hace incompatibles y con un claro delineamiento al fracaso.

Por esta razón la investigación ahora estaba enfocada a mantener un material como este dióxido de zirconio con su alta resistencia, pero mejorando sus propiedades ópticas tratando de asemejarlo a cerámicas de una gran belleza como el disilicato de litio, a partir de una presunta mejora en la translucidez del material. Y es entonces como surge el zirconio monolítico translucido que brinda dos presuntas ventajas: al ser un material “más translucido” como lo hacen notar las casas comerciales no requiere de una cerámica de recubrimiento por lo cual, el problema de la delaminación o el *chipping* quedaría resuelto y dos, al ser altamente resistente a pequeños espesores y no llevar blindaje sería una solución cuando se quiere evitar una mayor preparación del pilar o cuando hay problemas de espacio disponible.

Teniendo en cuenta lo anterior, nuestro estudio pretende someter láminas de dióxido de zirconio monolítico, modificados y no modificados mediante pigmentos y láminas de una cerámica vítrea con refuerzo de disilicato de litio al paso de la luz del espectro de luz visible, ultravioleta e infrarrojo cercano y así comparar la translucidez, opacidad y fluorescencia entre un tipo de cerámica y otro.

## 1. Problema de investigación

El problema de investigación es derivado de la necesidad de crear restauraciones que sean no solo resistentes a las diferentes situaciones en la cavidad oral, sino lo suficientemente estéticas para ser empleadas incluso en el sector anterior.

Actualmente los fabricantes de dióxido de zirconio monolítico nos ofrecen sus materiales apoyados en una apariencia más similar a la del diente natural en cuanto a translucidez, brillo, opalescencia, opacidad o fluorescencia que la presente en restauraciones de dióxido de zirconio convencional. A demás de esto ofrecen la posibilidad de modificar esa misma apariencia mediante el uso de pigmentos o *stains* que afecten las características ya mencionadas.

A pesar de que se ofrezcan restauraciones en zirconio monolítico traslucidas, y teniendo en cuenta los antecedentes del mismo material, resulta poco verosímil que pueda equipararse plenamente a restauraciones como el *Gold standard* de las cerámicas de alta estética: el disilicato de litio, más aún si se tiene en cuenta que su composición química difiere significativamente.

El problema se traduce entonces en identificar que tanta es la discrepancia entre un tipo de cerámica y otro, y como manipulando su apariencia es posible acercarse a los valores de translucidez, opacidad y fluorescencia.

Si se logra discriminar justamente el paso de la luz para uno y para otro, es de una gran importancia para el odontólogo al momento de determinar que material emplear en su

restauración, teniendo en cuenta los requerimientos y las condiciones particulares de cada situación clínica.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar la translucidez, opacidad y fluorescencia del dióxido de zirconio monolítico modificado por caracterización bajo la técnica de stains, frente a una cerámica de disilicato de litio.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Establecer como es el comportamiento óptico del dióxido de zirconio en restauraciones de contorno total modificado con técnica de stains.
2. Determinar si el dióxido de zirconio monolítico puede aproximarse en cuanto a propiedades ópticas, a otras cerámicas de alta estética como el disilicato de litio.
3. Valorar si la técnica de stains resulta útil para lograr mejores resultados estéticos para restauraciones con dióxido de zirconio monolítico.

### 3. Justificación

El color de una restauración dental está dado por la intervención de múltiples factores que actúan de forma sinérgica para obtener un resultado final. Este resultado así como todas las investigaciones actuales en estética de materiales cerámicos, está encaminado a imitar la estructura dental tanto en la forma, propiedades mecánicas y por supuesto en su apariencia. En esta pretensión de reproducir detalles que mimeticen las restauraciones como estructuras dentales naturales, se han realizado avances dentro de este campo, acercándonos cada vez más a una apariencia estética más favorable.

La translucidez y la opacidad se entienden como dos propiedades del color, parcialmente complementarias, pero de un valor inigualable al momento de definir las características visuales de una restauración. Si se comprende la translucidez como un punto medio entre la completa opacidad y la completa transparencia, se define entonces el rol trascendental que tiene esta propiedad en la obtención final del color de una restauración cerámica.

Por otro lado, al definirse la fluorescencia como la absorción por una sustancia de la luz ultravioleta (UV) y la emisión de luz visible en el espectro azulado, se entiende que los dientes naturales emiten una fuerte fluorescencia azul bajo la acción de los rayos UV, encontrados frecuentemente en el ambiente. Con esto se configura la fluorescencia como una característica primordial para la obtención de una restauración estética.

En la actualidad se ha empezado a proponer el dióxido de zirconio como material monolítico, procurando una solución a uno de los principales problemas que presentaba la zirconia de estructura: la delaminación de la cerámica de recubrimiento.

Este dióxido de zirconio monolítico dentro del grupo de las cerámicas es una propuesta con alta resistencia compresiva (800-1000Mpa) y que descarta el bajo valor cromático que ofrece las restauraciones metal-cerámica, pero, en oposición a estas restauraciones, ofrece un altísimo valor cromático que ha sido difícil de mimetizar, dando una apariencia de baja translucidez, de una alta opacidad y de una aún desconocida fluorescencia.

Por las razones anteriormente mencionadas, este trabajo se encaminó a determinar la influencia de emplear o no stains en la superficie del dióxido de zirconio monolítico y evaluar cómo puede mejorar o empeorar el comportamiento óptico en cuanto a translucidez, opacidad y fluorescencia; de la misma forma determinar si es posible o no acercarse a los valores ópticos que nos brinda el *Gold Standar* de la restauración protésica total cerámica: el disilicato de litio.

## 4. Hipótesis nula

Las propiedades ópticas del dióxido de zirconio monolítico sin aplicación de stains, del dióxido de zirconio modificado mediante técnica de stains y del disilicato de litio son iguales.

## 5. Marco teórico

### 5.1 Dióxido de Zirconio

El uso del zirconio como biomaterial no es actual. Hacia el año de 1988 ya se hacía referencia a su uso en aplicaciones médicas, principalmente para la fabricación de cabezas de fémur para situaciones de reemplazo total de cadera.<sup>1</sup> El zirconio fue descubierto por el químico alemán Martin Heinrich Klaproth y fue encontrado en forma de dióxido, para ser posteriormente aislado por el sueco Jons Jakob Berzelius en 1824.<sup>2</sup>

La abrumadora generación de tecnologías de punta en los últimos tiempos para la fabricación de estructuras que sean útiles en odontología, ha sido uno de los puntos de partida en la implementación de nuevo materiales que cumplan con ciertas características que pueden resultar útiles en el desarrollo de un tratamiento protésico. Es el caso del zirconio que ha venido siendo usado como material de estructura en la elaboración de coronas individuales y prótesis fijas aunque actualmente el espectro presenta múltiples aplicaciones incluidas la fabricación de carillas, postes intraradicales, cofias de coronas telescópicas, implantes y pilares de implantes. Además de esto también se encuentran en base a este material fresas para corte y piezas quirúrgicas, ajustes extracoronales o brackets para manejo ortodóntico<sup>3</sup>.

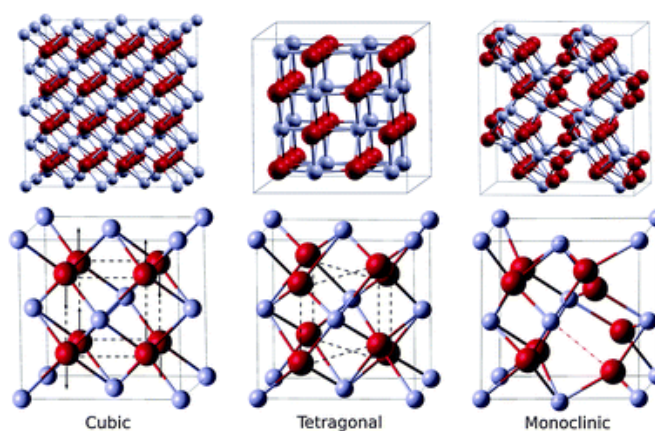
El zirconio es un material que aparece en la tabla periódica como un metal de transición, obtenido de minerales como el circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ), su principal fuente, así como de la badeleyita ( $\text{ZrO}_2$ ) con yacimientos principalmente en África, Asia y Norte América. Su número atómico es 40 y su peso atómico 91,22. Es lustroso y resistente a la corrosión. Tiene un punto de fusión en  $1855^\circ\text{C}$  y un punto de ebullición en  $4409^\circ\text{C}$ . No se encuentra en la naturaleza en estado puro sino en forma de óxido o asociado a óxidos de silicato.



El dióxido de zirconio ( $\text{ZrO}_2$ ) también conocido como Zirconia, corresponde a un óxido cristalino blanco que se encuentra en la naturaleza con estructura monoclínica. A temperatura normal presenta una estructura hexagonal compacta que brinda resistencia mecánica, estabilidad dimensional y un módulo elástico similar al del acero inoxidable, propiedades que lo hacen favorable para ser empleado como un biomaterial.

### 5.1.1 Propiedades microestructurales

En su estado natural el dióxido de zirconio puede presentar tres formas cristalográficas distintas, dependiendo de la temperatura a la cual está siendo sometido. En temperatura ambiente y tras calentar hasta  $1170^\circ\text{C}$ , la simetría es monoclínica ( $P2_1/c$ ), entre  $1170$  y  $2370^\circ\text{C}$  la estructura es tetragonal ( $P4_2/nmc$ ) y se convierte a cúbico ( $Fm\bar{3}m$ ) por encima de  $2370^\circ\text{C}$  y hasta el punto de fusión. Cuando hay un paso de la fase tetragonal a la fase monoclínica se da un enfriamiento que viene con una inherente reducción del volumen en aproximadamente 4,5%. Esta transformación es completamente reversible, lo que genera que el material sea altamente inestable. Como control a esta situación y con el objetivo justamente de generar una estabilidad en la fase tetragonal se han venido empleando óxidos tales como  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CeO}_2$  ó  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , permitiendo la retención del material en esta fase a temperatura ambiente. De estas aleaciones surgen entonces los tres principales tipos de presentaciones del zirconio como material empleado en prostodoncia, siendo el dióxido de zirconio estabilizado con itrio en un 2 a 3% el de mayor desarrollo<sup>4</sup>.



**Figura 1: Fases cristalográficas del zirconio. Tomada de Gallino F1, Di Valentin C, Pacchioni G. Band gap engineering of bulk  $\text{ZrO}_2$  by Ti doping. Phys Chem Chem Phys. 2011 Oct 21;13(39):17667-75.**

El zirconio posee una propiedad bastante particular que sucede cuando se da el paso de una fase tetragonal a una fase monoclinica. Este proceso que puede suceder durante la realización de ciertos tratamientos a la superficie del material como el fresado o el arenado, implica una mayor susceptibilidad al envejecimiento así como el ya mencionado aumento de volumen y aumento en la concentración de esfuerzos en tensión y compresión. El volumen mayor contribuye a una mejora en la resistencia flexural del material mediante un mecanismo exclusivo denominado *Transformation toughening* ó resistencia a la transformación, estableciendo un tope a la propagación del crack generado<sup>5</sup>.

Los bloques de zirconia pueden ser maquinados en tres etapas diferentes: verde, pre-sinterizado, y totalmente sinterizado. Las estructuras originales en etapa verde o presinterizadas se encuentran con un aumento de tamaño asociado a una compensación prospectiva de la contracción del material (20-25%) que se produce durante la etapa de sinterización final<sup>6</sup>. El maquinado mediante CAD-CAM es más rápido y genera menos desgaste del instrumental cuando se encuentra en sus dos primeras fases que cuando el bloque está completamente sinterizado<sup>4</sup>.

Estudios in vitro de muestras de Y-TZP han demostrado una resistencia flexural de 900 a 1200 MPa y resistencia a la fractura de 9 a 10 MPa/m<sup>1/2</sup>, casi el doble de los materiales a base de alúmina y cerca de tres veces más que los materiales reforzados con disilicato de litio<sup>7</sup>. Algunos estudios han arrojado una resistencia a la fractura bajo carga estática de mas de 2000N.

Debido a la inestabilidad en la estructura del dióxido de zirconio, la adición de 3mol% de itria (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) implica una estabilización parcial del mismo. Las propiedades mecánicas del material dependen del tamaño de grano; entre mayor sea este será menos estable y mas susceptible al cambio de fase T -> M, por el contrario granos mas pequeños (<1µm) implican una baja tasa de transformación<sup>8</sup>. A demás de esto es trascendental tener en cuenta la temperatura de sinterización, ya que altas temperaturas y tiempos aumentados generan mayor tamaño del grano, por ende menor resistencia a la fractura.<sup>11</sup>

La coloración de los bloques de zirconio puede obtenerse antes o después del fresado; en ambos casos se da mediante la inmersión en sales metálicas como cerio, bismuto, hierro o combinaciones entre ellas. Se ha encontrado que a bajas concentraciones, a temperaturas de

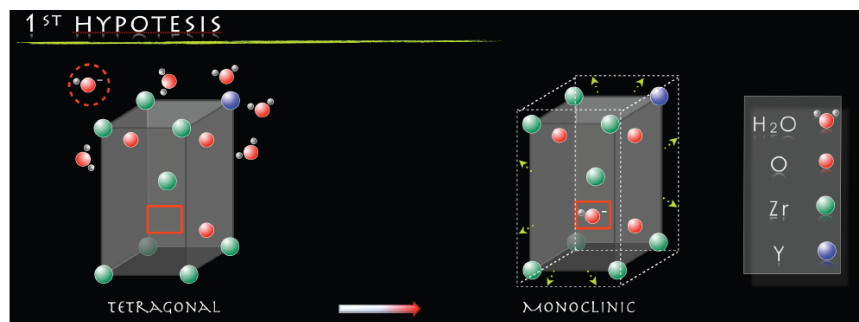
sinterización adecuadas y con la adición de otros óxidos metálicos es posible modificar el material a un color adecuado<sup>11</sup>.

### 5.1.2 Degradación por baja temperatura

Descrito por Kobayashi y colaboradores en 1981, se trata de uno de los principales procesos de envejecimiento del zirconio<sup>9</sup>. Este está asociado a la presencia de agua en la estructura y sus manifestaciones negativas implican la pérdida de resistencia de la estructura.<sup>10</sup>

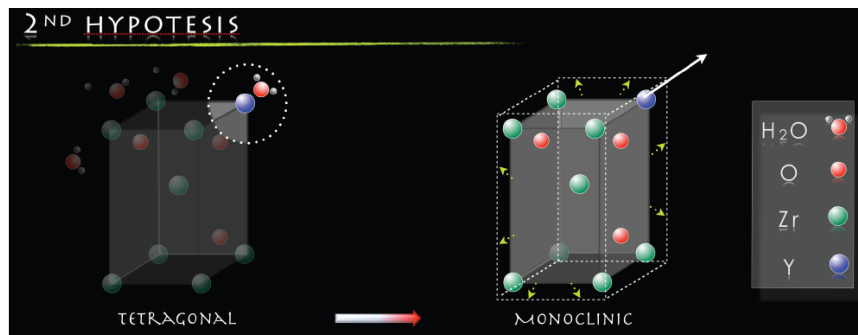
A relativas bajas temperaturas (150°C-400°C) ocurre una transformación de fase tetragonal a monoclinica iniciando en la superficie de la zirconia policristalina y progresando posteriormente en la estructura del material.<sup>11</sup>

Existen tres hipótesis asociadas a este proceso: la primera relacionada a difusión de especies de agua (HO) en la red del material, generando cambios en la micro conformación de la estructura y en la conformación de dicha red, generando la ya conocida reversión de fase. La transformación de un grano está acompañada por un incremento en el volumen, generando una alta concentración de esfuerzos que da lugar a microfracturas.<sup>12</sup> El crecimiento de las zonas de transformación deriva en el aumento *microcraks*, desprendimiento de granos y finalmente rugosidad superficial que conlleva a la pérdida de resistencia del material<sup>11</sup>.



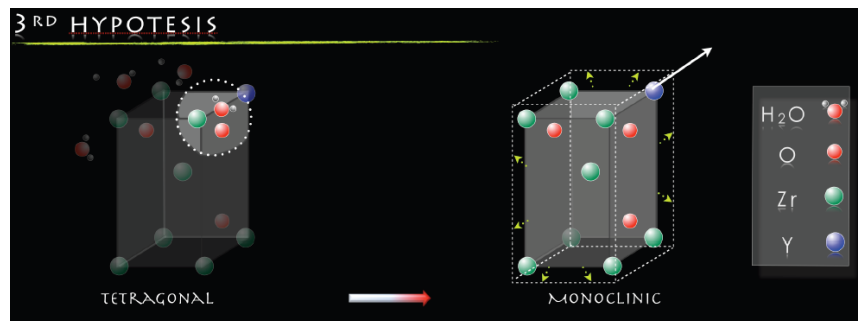
**Figura 2: Hipótesis 1 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.**

La segunda hipótesis adhiere a que las moléculas de agua interactúan con las moléculas de Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para formar *clusters* ricos en Y(OH)<sub>3</sub>.



**Figura 3: Hipotesis 2 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.**

La tercera hipótesis argumenta que el vapor de agua ataca la unión del óxido de zirconio, rompiendo este y llevando a una concentración de esfuerzos asociada al movimiento del OH. Esto a su vez genera defectos de la red que actúan como agentes de nucleación para la transformación posterior de tetragonal a monoclinico.



**Figura 4: Hipotesis 3 de degradación por baja temperatura. Tomada de Zirconia in Dentistry, Dr. Carlo Monaco.**

### 5.1.3 Biocompatibilidad

La biocompatibilidad del zirconio es un tema que ha sido ampliamente indagado. Su estudio in vitro ha reflejado un bajo nivel de inducción mutagénica o carcinogénica a nivel celular local<sup>13</sup>. En cuanto a los estudios in vivo una revisión de Piconi que resume cerca de 150 publicaciones indica

que no hay reacciones adversas locales, sistémicas o de cualquier otro tipo que puedan tener alguna correlación con el dióxido de zirconio.<sup>1</sup> La mutagenicidad también fue evaluada por Silva reportando que la zirconia no es capaz de generar mutaciones del genoma, presentando los niveles de oncogenicidad más bajos posibles, compatible esto con la supervivencia celular.<sup>14</sup>

#### 5.1.4 Zirconia y CAD/CAM

El desarrollo de las tecnología en CAD/CAM para odontología tiene tres objetivos claros: 1. Garantizar una adecuada resistencia a la restauración, 2. Diseñar restauraciones con una apariencia más natura y 3. Hacer restauraciones más exactas, en menos tiempo y de una manera más fácil<sup>15</sup>. El mecanismo en esencia es el mismo aunque usualmente se presenten algunas variaciones en los pasos. Se realiza un fresado directo (CAM) sobre bloques o discos presinterizados de 3Y-ZTP a partir del escaneado ya sea del modelo de yeso, de un patrón de cera o intraoral directamente, empleando un software a partir del cual es posible realizar el diseño de restauración final para la sinterización posterior. En la actualidad son varias ya las compañías que cuentan con sistemas para el maquinado de estructuras en zirconia y múltiples también los usos dados al material.

**Tabla 1: Sistemas de maquinado CAD/CAM actualmente en el mercado. Miyazaki, 2013<sup>16</sup>.**

| CAD/CAM system (Company)                            | Scanner        | Milling machine |
|---|----------------|-----------------|
| Everest & Arctica (KaVo electrotechnical work GmbH) | Original       | Original        |
| Lava (3 M ESPE Dental AG)                           | Original & OEM | Original        |
| Procera (Nobel Biocare Germany GmbH)                | Original & OEM | Original        |
| Cercon smart ceramics (DeguDent GmbH)               | Original & OEM | Original        |
| CEREC AC (Sirona Dental of system GmbH)             | Original       | Original        |
| Hint-ELs system (Hint-ELs DentaCAD systems)         | Original       | Original        |
| Aadva system (GC)                                   | Original & OEM | Original        |
| C-Pro system (Panasonic dental)                     | OEM            | Original        |
| Katana (Kuraray noritake dental)                    | OEM            | OEM             |
| ZENO <sup>®</sup> Tec System (Wieland)              | OEM            | OEM             |

### 5.1.5 Cementación y adhesión

Las restauraciones en dióxido de zirconio brindan ambas posibilidades: una mediante cementación con materiales convencionales y la otra mediante técnica adhesiva. Según algunas publicaciones no es necesario en todos los casos la cementación adhesiva, la cual debe ser empleada en situaciones clínicas específicas en las que se encuentre comprometida la retención y en pilares cortos.<sup>17</sup>

Se ha encontrado que el cemento resinoso de autopolimerización favorece la cementación, mientras que el tratamiento de superficie más comúnmente encontrado frente a restauraciones cerámicas como lo es el ácido fluorhídrico y la silanización, no genera ningún componente significativo en la adhesión<sup>18</sup>.

Algunos hallazgos actuales han determinado que el mejor protocolo para la cementación de restauraciones en óxido de zirconio debe estar basado en una abrasión por arenado acompañado de un monómero de 10-methacryloyloxydecylidihydrogenfosfato (MDP).<sup>19</sup>

### 5.1.6 Evaluación clínica y complicaciones

Las propiedades mecánicas asociadas a un alto módulo elástico generan un incremento en la capacidad de carga de una restauración en zirconia. Suarez y colaboradores reportaron una tasa de supervivencia de prótesis parcial fija en In Ceram Zirconia del 94,5% después de 3 años. En otro estudio Lava® demostró un adecuado comportamiento clínico en cuanto a adaptación marginal y caries secundaria después de 36 meses, con la observación de la delaminación de la cerámica de recubrimiento<sup>20</sup>. Otro trabajo más Tinschert presentaba una tasa de éxito del 89,2% en dientes anteriores y posteriores después de 3 años, con la presencia en 4 casos de *chipping*<sup>21</sup>.

Sailer<sup>22</sup> reportó una tasa de éxito para restauraciones de dióxido de zirconio en 97,8% después de 5 años; sin embargo la tasa de supervivencia estuvo en 73,9% asociado a complicaciones como caries secundaria y delaminación.

Las tasas de supervivencia y complicaciones del dióxido de zirconio como estructura de restauraciones fijas indican que la complicación técnica más frecuente es el *chipping* de la cerámica de recubrimiento.<sup>23</sup> Esta situación puede estar asociada a dos factores: la diferencia en el coeficiente de expansión térmica de la cerámica feldespática o el enfriamiento rápido que sucede una vez termina la sinterización.<sup>24</sup> Otros de los aspectos que influyen en la supervivencia de la restauración están asociados a inadecuados diseños de la estructura de soporte para la cerámica de recubrimiento y a una manipulación inadecuada del material que favorece la reversión de fase.

Actualmente se plantean dos opciones como solución a la delaminación de la cerámica de recubrimiento: la primera está asociada a la fabricación de estructuras híbridas que implican una cerámica de recubrimiento elaborada por CAD-CAM adherida a una estructura de zirconio fabricada también por CAD/CAM.<sup>25</sup>

### 5.1.7 Propiedades ópticas del dióxido de zirconio

Entre sus principales características se cuentan un alto índice de refracción, bajo coeficiente de absorción y alta opacidad en el espectro de luz visible y en el infrarrojo cercano<sup>62</sup>. Su aparente efecto opaco está asociado al tamaño de partícula mayor que el de la longitud de onda de luz visible y al discrepante índice de refracción de las partículas y de la matriz<sup>72</sup>. La zirconia al contar con un incremento significativo en su fase cristalina en pro de generar una mayor resistencia con respecto a otras cerámicas, presenta características de mayor opacidad al momento de emplearse como material restaurativo<sup>26</sup>, lo cual la hace útil en casos en los cuales se quiera enmascarar el color de fondo de un pilar o de un núcleo colado. Sin embargo con el amplio conocimiento que aún hace falta por adquirir del material, se tienen ideas asociadas a justamente una alta opacidad; esto constituye una idea errónea ya que no es posible establecerlo como tal teniendo en cuenta que no es un material que probablemente no es tan traslucido como un disilicato de litio pero tampoco es opaco al punto que impida el paso absoluto de la luz. Incluso algunos estudios afirman que las cerámicas a base de zirconia presentan una mayor translucidez que las metalo cerámicas<sup>27</sup>.

Cuando se hace referencia a restauraciones libres de metal, el espesor es un factor importante a tener en cuenta. Wang<sup>28</sup> comparó la translucidez de muestras de diferentes cerámicas vítreas con

muestras de cerámicas en zirconia involucrando diferentes espesores. Los resultados mostraron que a pesar de darse una mayor translucidez en las cerámicas vítreas, el aumento del espesor es inversamente proporcional a la translucidez del material, estableciendo así una relación exponencial con significancia estadística entre estos dos parámetros.

Es importante hacer notar que las investigaciones hacia propiedades ópticas del dióxido de zirconio aún no encuentran un auge definitivo, por lo cual la mayoría de éstas se enzarzan en proyectos piloto que buscan acercarnos a un punto de partida inicial, bajo el cual puedan establecerse parámetros de caracterización no solo clínica sino cuantitativa del material.

### 5.1.8 Dióxido de zirconio monolítico

El dióxido de zirconio surgió en el mercado de soluciones protésicas como un material capaz de suplir las deficiencias de las cerámicas vítreas y convencionales, entre las cuales se cuenta su inherente fragilidad, baja resistencia flexural y baja resistencia a la fractura<sup>29</sup>. La zirconia se mostró entonces como el material ideal en situaciones en las que las situaciones mecánicas fueran de alta exigencia ya que por el mecanismo de resistencia a la transformación que ya mencionamos previamente. Inicialmente al ser empleado exclusivamente como material de estructura, era necesario que llevara consigo un recubrimiento cerámico que permitiera una apariencia de mayor translucidez y por ende una mejor estética.

Algún tiempo después al hacer el respectivo seguimiento clínico, se empezó a evidenciar que dicha asociación de estructura y recubrimiento presentaba problemas importantes, principalmente porque presentaba fallas de tipo adhesivo y cohesivo en la cerámica de recubrimiento, acompañado de la aparición de sucesivos puntos de fractura; estas fallas fueron denominadas como *chipping* o delaminación.<sup>30 31</sup>

## 5.2 Cerámicas vítreas de disilicato de litio

Las cerámicas de disilicato de litio poseen una alta resistencia mecánica que puede alcanzar hasta 400 MPa, favorable en comparación a muchas otras cerámicas empleadas en odontología. Se prepara fácilmente a partir de la masa fundida de vidrio por colado y enfriamiento en moldes comercialmente disponibles además de hacerse en bloques para el procesamiento por CAD-CAM<sup>32</sup>.

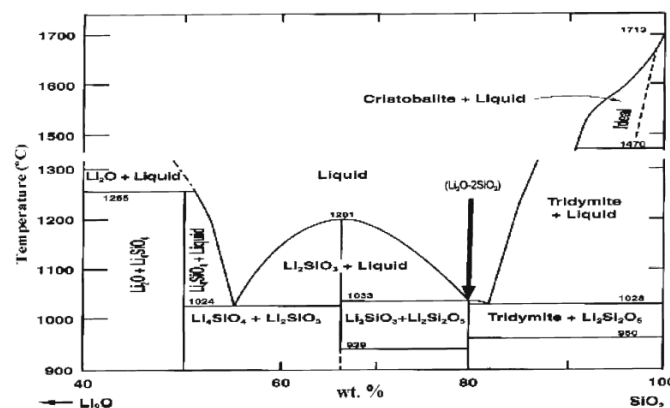


La resistencia a la fractura del disilicato de litio varía de 3 a 4 MPa<sup>0,5 m</sup>, su fuerza biaxial es 250-350 MPa, y la resistencia a la flexión de tres puntos es de alrededor de 300 a 400 MPa. El CaO es un ingrediente esencial para la fabricación de esta vitrocerámica con una mejor solubilidad química.

Entre las ventajas importantes del metasilicato de litio se encuentra su fácil maquinado y su fácil conversión mediante tratamiento térmico en disilicato de litio caracterizado por sus excelentes propiedades ópticas.

### 5.2.1 Cristalización del disilicato de litio

Puede ser preparado a partir del vidrio mediante un colado entre 1200 y 1450°C por 4 horas, seguido de un enfriamiento con agua para formar un material vítreo. Con la adición de un agente de nucleación tal como el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> toma lugar la superficie y el volumen de cristalización. Debido a su composición rígida el vidrio puede obtenerse en forma de bloque y enfriarse a temperatura ambiente. El bloque de vidrio es templado, nucleado y expuesto al volumen de cristalización a una temperatura entre 400 y 900°C. Dependiendo de la composición el paso de la nucleación puede ser llevado a cabo en un rango de entre 450 y 700°C por un tiempo de cerca de 0.5-4h y el paso de crecimiento cristalino puede ser llevado a cabo entre 700 y 1000°C por un tiempo que puede variar entre minutos y horas<sup>33</sup>.



Gráfica 1: Diagrama de obtención de Li<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> American Ceramic Society

### 5.2.2 Composición química

A pesar de que la fórmula del disilicato de litio es conocida  $\text{Li}_2\text{O}-2\text{SiO}_2$ , existen múltiples componentes más para darle las propiedades deseadas para ser usado en cavidad oral. El sílice, óxido de litio, alúmina, óxido de potasio, pentóxido de fósforo así como otros componentes pueden ser usados en la preparación del disilicato de litio; siendo el óxido de litio y el óxido de sílice los componentes básicos en la cristalización. Adicionalmente el óxido de Ba y el óxido de Cs pueden ser usados para estabilizar la fase de vidrio residual y mejorar su índice de refracción, por ende mejorando la translucidez del material. La adición de óxidos alcalínicos como CaO y BaO disminuye la viscosidad de la matriz vítrea y reduce las temperaturas de procesamiento con el fin de lograr una cerámica de baja fusión<sup>34</sup>.

En el caso de una cerámica de disilicato de litio de uso oral la composición esencialmente tiene óxido de litio que aumenta la fluidez del vidrio durante el procesamiento, sílice y en adición contiene aluminio, calcio, y fósforo, titanio y/o óxidos de zirconio. Los óxidos colorantes vítreos y otros componentes de coloración o sus mezclas son añadidos a la composición química de la cerámica vítrea con el fin de obtener el color y la fluorescencia similar a la del diente natural.

**Tabla 2: Composición del disilicato de litio. Peall. 1993<sup>35</sup>**

| Glass composition in wt%            |                    |                    |                    |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Oxides                              | Glass 1            | Glass 2            | Glass 3            |
| $\text{SiO}_2$                      | 69.3               | 74.2               | 76.2               |
| $\text{Li}_2\text{O}$               | 15.4               | 15.4               | 17.6               |
| $\text{K}_2\text{O}$                | 6.05               | 3.25               | 2.23               |
| $\text{ZnO}$                        | 5.28               |                    | 1.9                |
| $\text{MgO}$                        |                    |                    | 0.72               |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$             |                    | 3.54               |                    |
| $\text{P}_2\text{O}_5$              | 3.84               | 3.37               | 2.94               |
| Melting temperature                 | 1,450°C            |                    |                    |
| Annealing                           | 450°C              |                    |                    |
| Heat treatment                      | 480/1 h<br>800/4 h | 650/4 h<br>950/4 h | 650/4 h<br>850/4 h |
| <i>Glass ceramics</i>               |                    |                    |                    |
| Modulus of rupture PSI              | 28.5               | 31.4               | 29                 |
| TEC $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ | 127                | 78                 | 98.5               |
| Toughness, MPa $\text{m}^{0.5}$     | 2.8                | 3.30               | 2.79               |

El índice de refracción del disilicato de litio (-1.55), un hecho que permite la posibilidad de hacer la cerámica de vidrio con una muy alta translucidez. Específicamente, el índice de refracción de la matriz de vidrio puede ser aumentado para que coincida con la de la fase de disilicato de litio mediante la modificación de la composición química ligeramente a través del refuerzo con pequeñas cantidades de óxidos de metales pesados tales como Sr, Y, Nb, Cs, Ba, Ta, Ce.

## 5.3 Fenómenos de la luz

### 5.3.1 Propiedades del color

Entre la compleja composición del color es notable caracterizar múltiples facetas a partir de las cuales se da la percepción del mismo por el ojo humano, generando una caracterización determinada. Estas pueden ser:

- **Atributos del color**

**L \***: (luminosidad, brillo, valor) Percepción por la cual los objetos blancos se distinguen de los objetos de color gris y la luz de los objetos de color oscuro. Se considera entonces que el negro estándar posee una reflectancia lumínica de 0 y el blanco tiene una reflectancia lumínica de 100<sup>36</sup>.

**a \***: En la escala CIELAB, el grado de rojos / verdes.

**b \***: En la escala CIELAB, el grado de coloración azul / amarillo.

**C** (croma, saturación) Es el atributo de la percepción del color que expresa el grado de gris justamente de un color.

**H** (Tono, Matiz) es el atributo de la percepción del color por medio del cual un objeto se juzga a ser de color rojo, amarillo, verde, azul, púrpura y así sucesivamente.

- **Atributos geométricos**

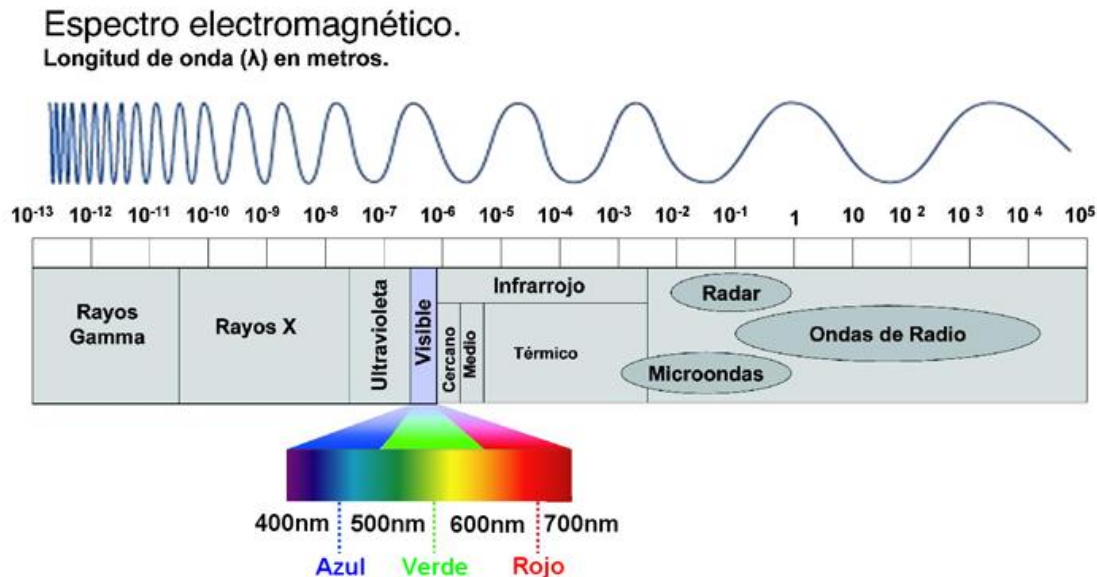
**Dispersión**: Es el proceso por el cual la luz que pasa a través de una superficie granular, fibrosa o áspera se dirige a lo largo de una gama de ángulos

**Opacidad**: Es la propiedad de un material para ocultar su respaldo cromático

**Transparencia**: Es la propiedad de un material por el cual una parte insignificante de la luz transmitida se somete a la dispersión

**Translucidez**: Es la propiedad de un material por el cual una gran parte de la luz transmitida se somete a dispersión. En general, el aumento de la translucidez de una corona disminuye su valor porque menos luz regresa al ojo. Con el aumento de la translucidez, la luz es capaz de pasar a la

superficie y se dispersa dentro de la restauración. La translucidez del esmalte varía con el ángulo de incidencia, textura de la superficie y el brillo, longitud de onda, y el nivel de deshidratación.<sup>37</sup>



*Figura 5: Longitudes de onda del espectro de luz visible. Tomado de astronomia2009.es*

- **Fenómenos ópticos**

**Opalescencia:** Es el proceso por el cual un material aparece amarillo-rojo en luz transmitida y azul en la luz dispersa perpendicular a la luz transmitida. El fenómeno fue nombrado a partir de la apariencia de una piedra de ópalo

**Fluorescencia:** Es el proceso por el cual la radiación electromagnética de una región espectral es absorbida y re-irradiada en otros, por lo general, de más largas longitudes de onda

**Metamerismo:** Es el fenómeno, mediante el cual dos colores parecen el mismo bajo una fuente de luz pero diferentes bajo otra.

**Brillo:** Es la propiedad de una superficie que implica la reflexión especular y es responsable de la apariencia brillante o tipo espejo

**Textura:** Influencia la estética mediante la determinación de la cantidad y la dirección de la luz reflejada en la superficie. La textura debe ser diseñada para simular el patrón de reflectancia de los dientes naturales adyacentes. Los dientes pequeños pueden tener una gran cantidad de caracterización con punteado, crestas, estrías, y lóbulos<sup>38</sup>.

### 5.3.2 Percepción del color

Para percibir un color es necesario la participación de tres componentes: una fuente de luz, un objeto y un observador.

#### Observador

La observación del color de un objeto puede ser subjetiva u objetiva. La primera asociada a la interpretación del ojo humano sujeta a cambios en la percepción por la edad, tiempo de exposición, fatiga, alteraciones de células fotorreceptoras, etc. La segunda relacionada con equipos colorimétricos o espectrofotométricos que miden y registran la cantidad de luz reflejada, absorbida o transmitida a través de comportamiento en el espectro de luz visible, siendo altamente sensibles a los cambios entre dos objetos medidos<sup>8</sup>.

En vista de las múltiples variaciones que se presentan en cuanto a la observación del color la CIE estableció el concepto del observador estándar en 1931 y en 1964 basada en la respuesta humana promedio a través del espectro de luz visible.

#### Iluminante

El iluminante es una representación gráfica de la fuente de luz bajo la cual se ven las muestras. Cada fuente de luz tiene una distribución de energía que afecta el modo en que se ve el color. La CIE al igual que con el observado ha clasificado a los iluminantes de acuerdo a su efecto en la percepción del color. La CIE estableció tres iluminantes estándar: A, B y C, posteriormente los de la serie D que representa diferentes condiciones del día y en donde se encuentra el iluminante D65 (6500K) cuya reflectancia coincide con la reflectancia de la luz azul, medio día y usado como iluminante patrón en todos los estudios de estas características<sup>8</sup>.

## Objeto

El objeto al ser sometido a la exposición de una fuente de luz se caracteriza por tener un espectro de reflectancia difusa, que indica que fracción de luz de una determinada longitud de onda se refleja por un material. La parte de luz que no se refleja, se transmite, se absorbe o se dispersa dando un universo entre todos ellos de 1.

### 5.3.3 CIE $L^*a^*b^*$

Para mejorar la precisión en la comunicación del color de un objeto, la Comisión Internacional del Color (CIE) ha desarrollado algunos métodos para expresar las curvas espectrales en forma numérica, basados en los valores triestímulo XYZ que corresponden a la respuesta promedio del ojo humano a diferentes longitudes de onda. El método utilizado en la odontología es el espacio de color uniforme, conocida CIE  $L^*a^*b^*$ . El espacio de color es una zona numérica que expresa y refiere el color de un objeto. Aquí,  $L^*$  indica las coordenadas de luminosidad del objeto, con valores de 0 (negro absoluto) y 100 (blanco absoluto). Los valores de  $a^*$  y  $b^*$  indican las coordenadas de cromaticidad, que muestra la posición tridimensional del objeto en el espacio de color y su dirección. Cuando la coordenada  $a^*$  es positiva ( $+a^*$ ), el color del objeto tiende a rojo. Cuando esta coordenada es negativa ( $-a^*$ ), la tendencia es de color verde. Esta coordinación puede tener un rango de -90 a 70 Delta  $a^*$ . La coordenada  $b^*$  indica la dirección a amarillo ( $+b^*$ ) o azul ( $-b^*$ ), y puede variar desde -80 hasta 100 Delta  $b^*$ .

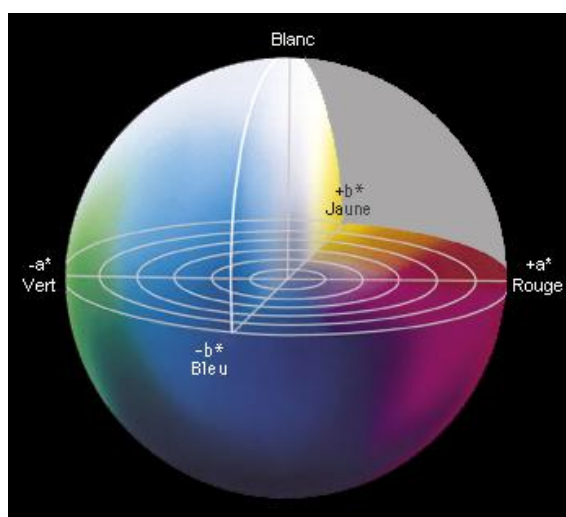
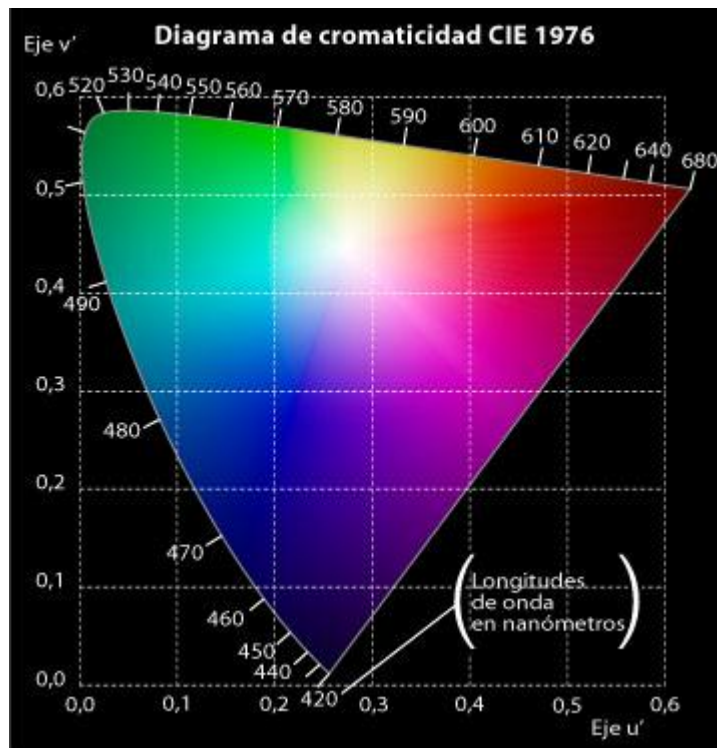


Figura 6: Escala CIE Lab. Tomado de [astrosurf.com](http://astrosurf.com)



*Figura 7: Esquema de cromaticidad CIE 1976*

Las ecuaciones que establecen los valores de  $L^*a^*b^*$  son:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

#### 5.3.4 Espacio cromático dental

La zona del espacio cromático correspondiente a dientes naturales se describe como un subespacio en forma de plátano en el sistema CIEL $^*a^*b^*$ , situado entre el rojo claro y el amarillo claro, con forma alargada y que se extiende en el mismo eje de la luminosidad. Sus valores extremos son 78/1/12 y 62/6/31 en este sistema<sup>8,39</sup>.





| $\Delta E^*_{ab}$ | Significancia Clínica   |
|-------------------|---|
| 0                 | Estética excelente con exactitud del color. No percibido clínicamente o sólo con gran dificultad. |
| 2                 | Muy pequeña diferencia de color, con muy buena estética.  |
| 4                 | Diferencia obvia pero con un promedio aceptable para la mayoría de los pacientes.                 |
| 6                 | Estética pobre, pero en los límites de aceptabilidad.   |
| 8                 | La estética es muy pobre y no es aceptada por la mayoría de los pacientes.                        |
| 10                | Totalmente inaceptable estéticamente.   |

**Tabla 3: Escala ampliada de Clasificación Visual (EVRSAM). Jhonston y Kao**

### 5.3.7 Características físicas de las cerámicas dentales

#### Estabilidad del Color

Cuanto menor sea el grado de porosidad evidenciado por una cerámica después del procesamiento de laboratorio, mayor es su estabilidad de color. Esto significa que las prótesis cerámicas fabricadas industrialmente muestran una mayor estabilidad del color en comparación con las prótesis artesanales. Sin embargo, algunas variables tales como el uso de colorantes extrínsecos, número de capas, asociación con vacío, tipo de material cerámico, la presencia de una estructura metálica o el espesor de la cerámica, pueden influir en la estabilidad del color<sup>40</sup>.

#### Translucidez y Opacidad

La cerámica dental deben presentar tanto translucidez y opacidad para imitar las estructuras dentales. La opacidad está directamente relacionada con la dentina, porque la luz pasa a través esmalte y alcanza a la dentina, que, como un cuerpo opaco, refleja la luz de nuevo. Por otra parte, el esmalte se comporta como un objeto translúcido, lo que permite el paso de luz, permitiendo la visualización de la dentina mientras además de proporcionar la dispersión de la luz a la longitud de onda del azul a través de sus cristales de hidroxiapatita.<sup>46</sup> No hay cerámicas dentales que puede mostrar simultáneamente características de opacidad y translucidez en un solo material. Existen cerámicas opacas para la construcción de la estructura imitando a la dentina y vítreas translúcidas que se utilizarán en las técnicas de estratificación.<sup>41</sup>

## Fluorescencia

Entre las propiedades de algunos materiales se cuentan aquellos que tienen la capacidad de absorber la energía de una luz no visible (ultravioleta, rayos catódicos o rayos X) y convertirla en luz visible, es decir, la luz con una longitud de onda mayor que la radiación incidente<sup>42</sup>. Los dientes naturales son conocidos por tener una alta fluorescencia bajo luz ultravioleta. Cuando se realiza un diente artificial, por lo general es necesario adicionar agentes fluorescentes para producir restauraciones de gran similitud al diente natural. Cuando los dientes naturales están expuestos a los rayos ultravioleta (UV), se observa fluorescencia, con una banda de espectro de emisión que van del blanco a una luz azul intenso con una longitud de onda más corta que 400 nm. Este fenómeno está dado por la dentina, que tiene una fluorescencia mucho más intenso que el esmalte (tres veces más fluorescentes), debido a la presencia de una mayor cantidad de pigmentos orgánicos fotosensibles. Algunos fabricantes en busca de imitar esta situación han diseñado cerámicas dentales con características fluorescentes similares a los dientes, con el objetivo de crear un efecto de luminosidad. Metales de las tierras raras (europio, terbio, iterbio y de cerio) se han utilizado como agentes luminóforos en la composición de polvos cerámicos, debido a que muestran un intenso blanco-azul y amarillo fluorescente. Cuando un material cerámico no es fluorescente, se tiende a tener una apariencia de vitalidad reducida, presentando una apariencia grisácea, especialmente en luces oscuras o negras<sup>43</sup>

## Opalescencia

El esmalte actúa como un filtro que tiene la capacidad de reenviar selectivamente las ondas largas y al mismo tiempo, reflejar las ondas cortas. Debido a esta reflexión, el puede verse como que de un color blanco azulado. Cuando las ondas largas que estaban siendo transmitidas asociadas a la dentina son reflejadas de nuevo, dan un esmalte naranja generando un efecto conocido como contra-opalescencia. En cerámica, estos efectos se obtienen mediante el uso de diferentes esmaltes opalescentes. Algunos tienen un color azulado y otras de color naranja, en función también de los pigmentos al polvo de cerámica. En el momento de la construcción de la prótesis, una adecuada técnica de estratificación, de acuerdo con la naturaleza óptica del diente, asegura la combinación de efectos estéticos con respecto a la fluorescencia<sup>44</sup>.

### 5.3.8 Consideraciones en la selección del color

#### Fuente de Luz

La fuente de luz se ha identificado como uno de los factores que más influye en la elección del color. El tipo de fuente de luz, su intensidad y la inclinación son algunos de los variables más comunes citadas en la literatura. El metamerismo es en gran parte responsable de las distorsiones en la selección de color, por lo cual es necesario adoptar normas para reducir al mínimo para ayudar en el resultado óptico de las cerámicas utilizadas. Como la selección de color es generalmente realizado bajo una fuente de luz natural indirecta, es prudente involucrar fuentes de luz fluorescentes e incandescentes para la selección de color disminuyendo al máximo la acción del metamerismo.

#### Substrato y espesor del material

El tipo y color de un sustrato deben considerarse al seleccionar un material de restauración, ya que influye en el color final de las restauraciones de cerámica, principalmente con los sistemas vítreos. Cuando un sustrato tiene un color similar a la cerámica, el espesor recomendado (aproximadamente 1,5 mm) se puede utilizar para sistemas vítreos. Cerámicas con una alta translucidez que requieren técnicas de estratificación deben tener una preparación más extensa para que el volumen del material logre minimizar el efecto del fondo<sup>45</sup>. Cuando no existen las condiciones adecuadas en cuanto a espacio disponible para el material se requiere entonces recurrir a otro tipo de restauraciones como las monolíticas para que mediante espesores menores sea posible manejar la condición de translucidez así como las propiedades mecánicas.

#### Material de composición y método de fabricación

Sobre la base de la variedad de cerámicas disponibles, es importante entender que el proceso de composición y fabricación influyen directamente en el resultado óptico de los materiales cerámicos, y son factores importantes para el éxito estético del caso. Para generar la máxima reflexión y opacidad, las partículas de cerámica debe ser ligeramente más grandes que la longitud de onda de la luz y deben tener un índice de refracción diferente de la matriz donde son incorporados, así como un índice de refracción más alto del material produce una mayor

opacidad<sup>27</sup>. Los sistemas cerámicos que utilizan alúmina o zirconia tienen altos índices de refracción y por lo tanto, se utilizaban solo como elementos opacificantes, esto hasta la aparición de nuevas soluciones basadas en estos mismos materiales que emplean cambios en cuanto a su translucidez.

### 5.3.9 Sistemas de medición del color

#### Técnica visual

La determinación del color visualmente por comparación del diente con guías estándar es el método más frecuente de determinación del color en odontología. Se trata de un proceso puramente comparativo en el que la referencia y la variable son observadas bajo las mismas condiciones de luminosidad; sin embargo este método presenta sesgos importantes asociados principalmente a las condiciones externas de la luz, experiencia del evaluador, fatiga del ojo humano y variables fisiológicas tales como alteraciones en la percepción del color y metamerismo.<sup>46</sup>

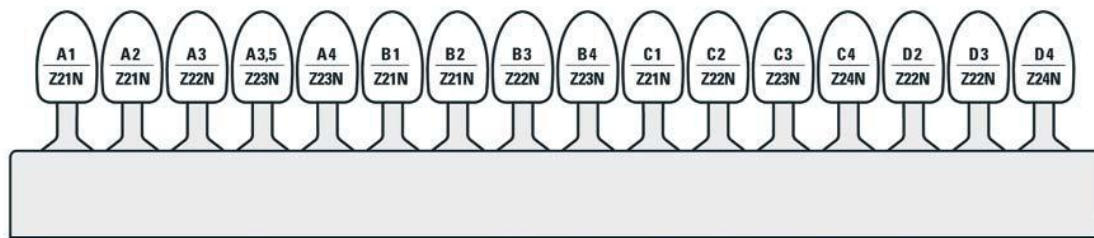
- *Vitapan classical*

La primera guía de gran difusión se introdujo al mercado en 1956 por Vita Zahnfabrik para la medición del color de los sistemas cerámicos. Posteriormente se introdujeron algunos parámetros visuales que con algunas modificaciones menores se siguen utilizando de forma rutinaria por los odontólogos.

La guía de colores propuesta en 1956 estableció una referencia de amplia aceptación y se mantuvo casi sin modificaciones hasta hoy. Esta guía de color, ahora llamada Vitapan Clásica consta de 16 fichas dispuestas en cuatro grupos (A-D) de diferentes tonos: A: Marron Rojizo, B: Amarillo Rojizo, C: Gris, D: Gris Rojizo. Dentro de cada grupo, el valor y el croma se identifican por un número. Como el número aumenta, disminuye la luminosidad y aumenta el croma. Esta guía fue de uso universal y relativamente sencillo pero carecía de una lógica y de una distribución adecuada de cada característica, sin tener en cuenta obviamente las condiciones implementadas por la CIELab.

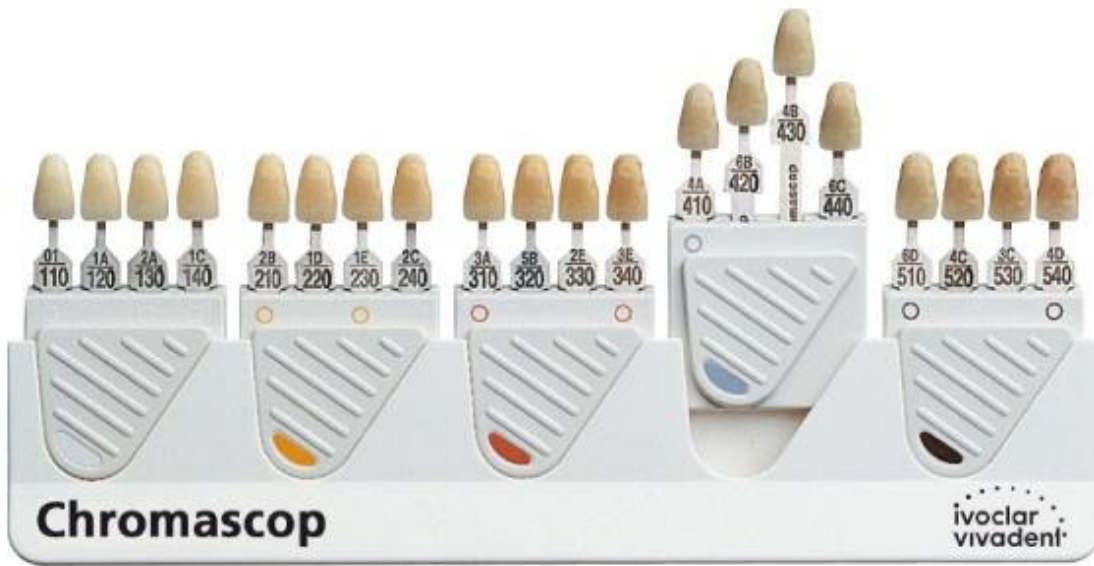


**Figura 9: Guía Vitapan Classical**



- *Chromascop*

Es la guía empleada por Ivoclar Vivadent para restauraciones cerámicas. Viene dividida en cinco grupos del 100 al 500 siendo: 100 blanco, 200 amarillo, 300 marrón claro, 400 gris y 500 marrón oscuro. Al igual que en la vita classical se elige primero el croma y después el matiz.



**Figura 10: Guía Chromascop**

- *Vita 3d Master*

Es la primera guía en implementar el sistema CielAB en el cual se entiende que cualquier modificación en valor, saturación ó matiz se manifestaría en la obtención de un color diferente, siendo que estas tres características son consideradas de manera equitativa. En esta guía el primer número está relacionado al valor, la letra al tono y el segundo número al croma. Se usan seis niveles diferentes de luminosidad para crear seis grupos de tablas, siendo el 0 el de mayor valor y el 5 el de menor valor. Tiene tres niveles de croma que van del menos cromático al más cromático en cada grupo, excepto en el grupo 1 que tiene solo dos niveles. Los valores intermedios están asociados a la tendencia del matiz hacia menos rojo (L) y más rojo (R).<sup>47</sup>



*Figura 11: Guía Vita 3D Master*

### **Técnica instrumental**

El procedimiento clínico tradicional de toma de color visualmente puede estar influenciado negativamente por varios factores, como las variaciones en el tipo y calidad de la luz, la presencia de alteraciones en la percepción del color o en sus defectos, las diferencias de género y variaciones en la experiencia de los evaluadores.<sup>48</sup>

Comercialmente existen dos tipos de instrumentos electrónicos para la medición del color: colorímetros y espectrofotómetros, sin embargo su enfoque ha sido dado hacia el ámbito investigativo debido al alto costo que representa en la implicación de procedimientos clínicos.

El colorímetro es un instrumento relativamente simple y de bajo costo que está diseñado para medir el color sobre la base de tres ejes mediante el uso de un filtro que simula el ojo humano. El espectrofotómetro es un instrumento más sofisticado, construido para medir por reflexión

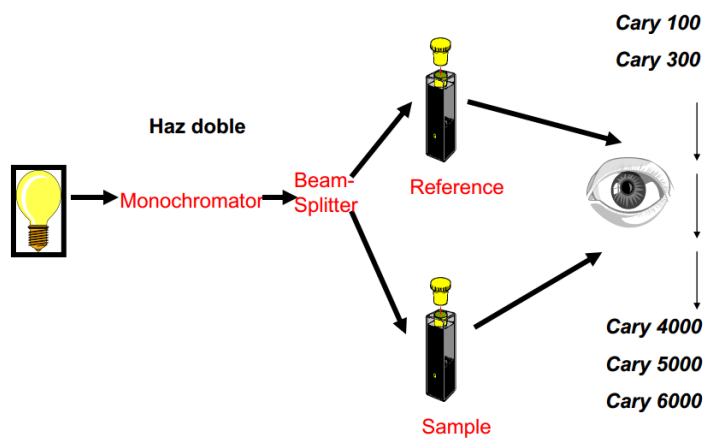
transmisión un objeto observado, dando toda la curva espectral y está limitada para la medición de color exclusivamente en el espectro visible.<sup>48</sup>

### Espectrofotómetro

Se encuentra entre los instrumentos más precisos, útiles y flexibles para la determinación del color en odontología.<sup>49</sup> Miden la cantidad de luz absorbida, transmitida y reflejada de un objeto en intervalos de 1-25 nm en un rango entre 200 y 3300nm.

Un espectrofotómetro de luz visible contiene una fuente de radiación óptica, un medio de dispersión de la luz, un sistema óptico para medición, un detector y un medio de conversión de la luz obtenida a una señal que puede ser analizada. Los datos obtenidos a partir de espectrofotómetros deben ser manipulados y traducidos en una forma útil para los profesionales de la odontología. Las mediciones obtenidas por los instrumentos son con frecuencia introducidas a las guías de colores dentales y convertidos en guías de color equivalentes<sup>50</sup>.

Con respecto a las mediciones, el espectrofotómetro comparado con el ojo humano o con técnicas convencionales, se obtiene un 33,3% más de precisión en el 93,3% de los casos.





**Manejo de la lámpara:**  
reconectar y usar.  
Las lámparas están  
prácticamente y son fáciles  
de reemplazar. El sistema  
electrónico de control de la  
lámpara se adapta a una  
amplia gama de diseños de  
lámpara.

**Flexibilidad**  
Las rendijas se pueden fijar  
tanto en el espectrofotómetro  
NIR como en el UV-Vis.

**Resolución excelente**  
El monocrómator de Littrow  
doble fuera de plano minimiza  
el ruido fotométrico y la luz  
difusa.

**Sistema óptico sellado**  
El sistema de aislamiento  
óptico incluye una carcasa  
"Monaco" de aluminio hecha  
de una sola pieza que aisla el  
sistema óptico de las  
perturbaciones externas.

**Purgas separadas**  
El monocrómator y el  
compartimento de muestra  
pueden purgarse con  
nitrógeno de forma  
independiente, lo que  
permite regularlas de forma  
independiente y dar un flujo  
mayor al compartimento de  
muestras que al de la  
óptica.

**Medidas exactas a  
transmitancias bajas**  
La óptica Schwarzschild en  
torno a la fuente garantiza  
el máximo nivel de  
transmisión de la luz.

**Amplio compartimento de  
muestras**  
Incluye una placa de suelo  
extraíble para ofrecer una  
flexibilidad máxima al montar  
muestras.

**Mecanismo de anclaje  
exclusivo**  
Coloque sus accesorios de  
forma fácil y reproducible en  
el compartimento de  
muestras.

**Sistema óptico con  
recubrimiento de sílice**  
Protege al sistema óptico  
del entorno y permite  
realizar los procesos de  
limpieza sin dañar la  
superficie reflectante.

**Las mejores detectores**  
La posibilidad de escoger  
detectores PbS o InGaAs  
proporciona flexibilidad en el  
NIR. Donde otros  
espectrofotómetros  
necesitan ambos detectores  
(InGaAs y PbS) para mejorar  
su rendimiento en el NIR.

**la superioridad del detector  
PbSmart del Cary 5000 hace  
que solo sea necesario un  
detector. El detector InGaAs  
de longitud de onda corta del  
Cary 6000 permite realizar  
medidas de hasta 8 Abs en  
el NIR.**

**Intervalo dinámico  
ampliado**  
El intervalo dinámico  
ampliado de los  
instrumentos Cary es  
el resultado del avanzado  
diseño de sus  
componentes electrónicos.  
Con atenuación del haz  
de referencia, los  
espectrofotómetros pueden  
medir, en rutina,  
absorbancias mayores  
de ocho.

### Geometría óptica del espectrofotómetro de uv, vis,nir

Todo cuerpo que sea sometido a efectos de radiación, como un haz de luz, experimenta un fenómeno de reflexión y absorción de energía la cual, se manifiesta en forma de ondas electromagnéticas que pueden ser medidas y analizadas en función de su amplitud y su longitud, principalmente.

El termino espectro se refiere a una gráfica continua con cambios de pendiente en dos dimensiones, donde los valores en el eje horizontal corresponden a la longitud de onda, que puede ser expresada en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o nanómetros (nm), y los valores del eje vertical al porcentaje de absorbancia, transmitancia o reflectancia.

La transmitancia (T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra, y la cantidad de luz que incidió sobre ella, y se representa normalmente en tanto por ciento:  $\% T = I_t/I_o \times 100$ . La transmitancia nos da una medida física de la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra.

La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de  $1/T$ . Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ( $I_o = I_t$ ), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces  $A$  vale  $\log 1 = 0$ .

En un contexto general un espectrofotómetro cuenta con las siguientes condiciones:

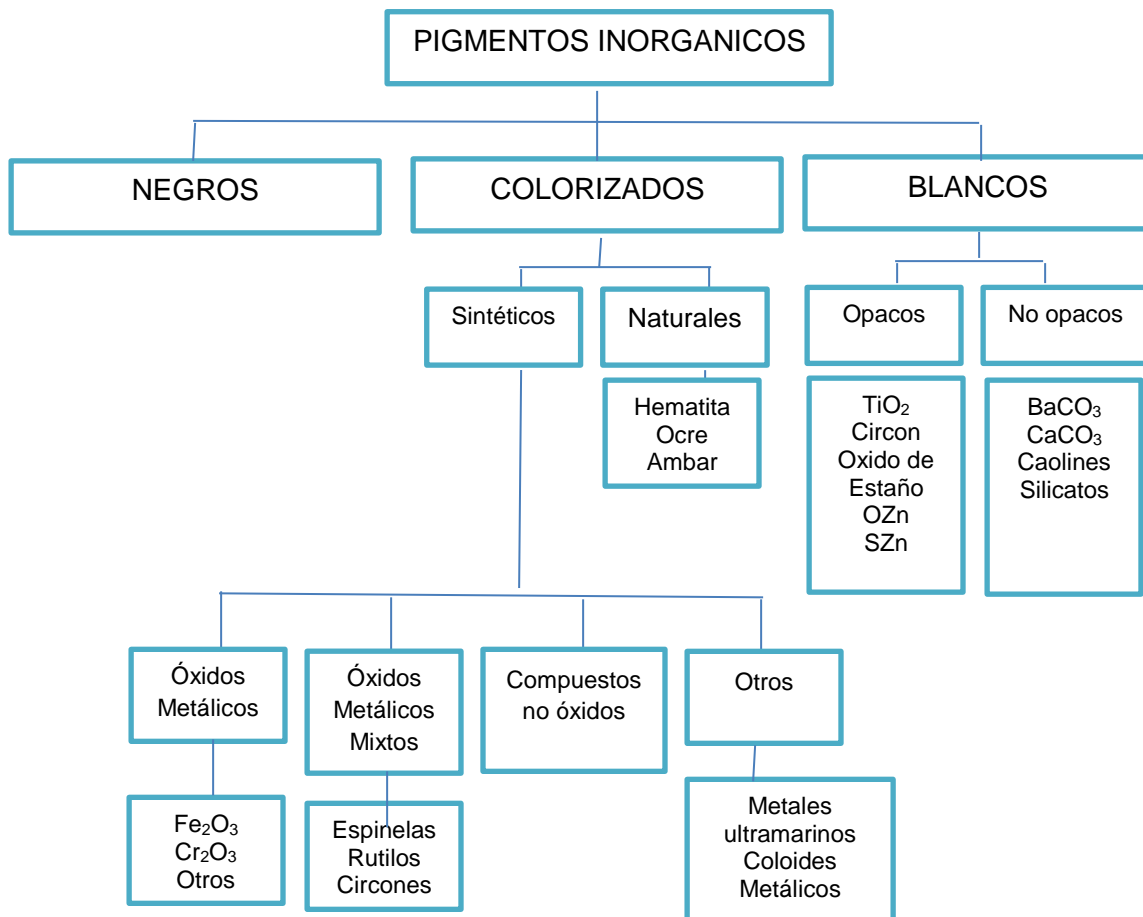
1. Una fuente de energía radiante: lámpara de deuterio y tungsteno.
2. Un monocromador para la selección de radiaciones de una determinada longitud de onda: filtros, prismas, redes de difracción.
3. Un compartimento donde se aloja un recipiente transparente (cubetas o tubos) que contenga la muestra. Pueden ser de vidrio, cuarzo o plástico transparente.
4. Un detector de luz y un amplificador convertidor de las señales luminosas en señales eléctricas.

5. Un registrador o sistema de lectura de datos.

### 5.3.10 Pigmentos o stains

Se denomina pigmento cerámico, a los componentes químicos que cumpliendo los requisitos de ser estables a alta temperatura, y estables en el vidrio fundido, dan el color de distintas formas al esmalte. Lo que se trata es de dar una dispersión a estas pequeñas partículas de color uniforme y próximo que genere la sensación de color, continuo.

Se considera un pigmento como una sustancia inorgánica en una proporción de 0,5 a un 5 % incluido en una matriz vítrea que genera una coloración uniforme siendo termoestable, e insoluble.



**Cuadro 1: Clasificación de los pigmentos según su uso. Tomado y arreglado de: El color de la cerámica: nuevos mecanismos en pigmentos para los nuevos procesos de la industria cerámica, Guillermo Monrós**

Los pigmentos producen sus colores debido a que selectivamente reflejan y absorben ciertas ondas luminosas. La luz blanca es aproximadamente igual a una mezcla de todo el espectro visible de luz. Cuando esta luz se encuentra con un pigmento, algunas ondas son absorbidas por los enlaces químicos y sustituyentes del pigmento, mientras otras son reflejadas. Este nuevo espectro de luz reflejado crea la apariencia del color. Por ejemplo, un pigmento azul marino refleja la luz azul, y absorbe los demás colores. Estos a diferencia de las sustancias fluorescentes o fosforescentes, sólo pueden sustraer ondas de la luz que recibe, nunca añadir nuevas.

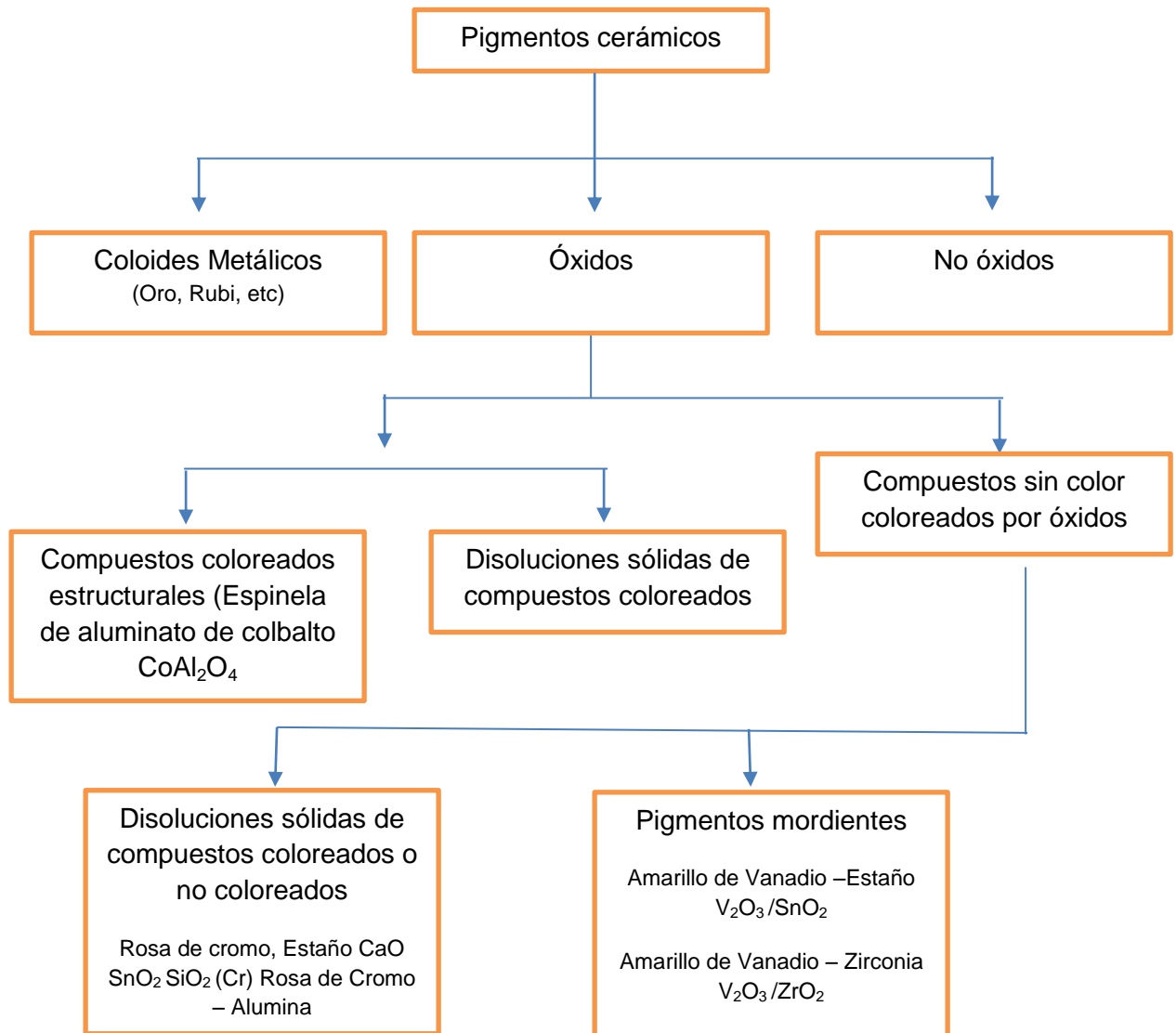
La apariencia de los pigmentos está íntimamente ligada al color de la luz que reciben. La luz solar tiene una temperatura de color alta y un espectro relativamente uniforme, y es considerada un estándar para la luz blanca. La luz artificial, por su parte, tiende a tener grandes variaciones en algunas partes de su espectro. Vistos bajo estas condiciones, los pigmentos lucen de diferentes colores.

Los espacios de colores usados para representar colores numéricamente deben especificar su fuente de luz. Los espacios de color  $L^*a^*b^*$ , a menos que se indique lo contrario, asumen que la medida fue tomada bajo una fuente luminosa de tipo D65 (Daylight 6500 K), la cual tiene aproximadamente la misma temperatura de color que la luz solar.

Otras propiedades de un color, tales como su saturación o su luminosidad, pueden ser determinadas a partir de las otras sustancias que acompañan a los pigmentos. Los adhesivos y rellenos añadidos a químicos pigmentadores puros también tienen sus propios patrones de reflexión y absorción, los cuales pueden afectar el espectro final. De la misma forma, en mezclas de pigmento y adhesivo, algunos rayos de luz pueden no encontrarse con moléculas pigmentadoras, y pueden ser reflejados tal cual. Este tipo de rayos contribuyen a la saturación del color.

Un pigmento puro permite que muy poca luz blanca escape, produciendo un color altamente saturado. Una pequeña cantidad de pigmento mezclado con mucho adhesivo, no obstante, tiene un aspecto insaturado y opaco, debido a la gran cantidad de luz blanca que escapa.

En cuanto al procesado de los pigmentos cerámicos es el mismo de todos los productos cerámicos, aunque la idea es que sean materiales particulados, es decir, que sean lo menos sinterizados posible. Las etapas del procesado son : mezcla y molturación de materias primas, secado, cocción, molienda, lavado para eliminar las sales solubles y secado.

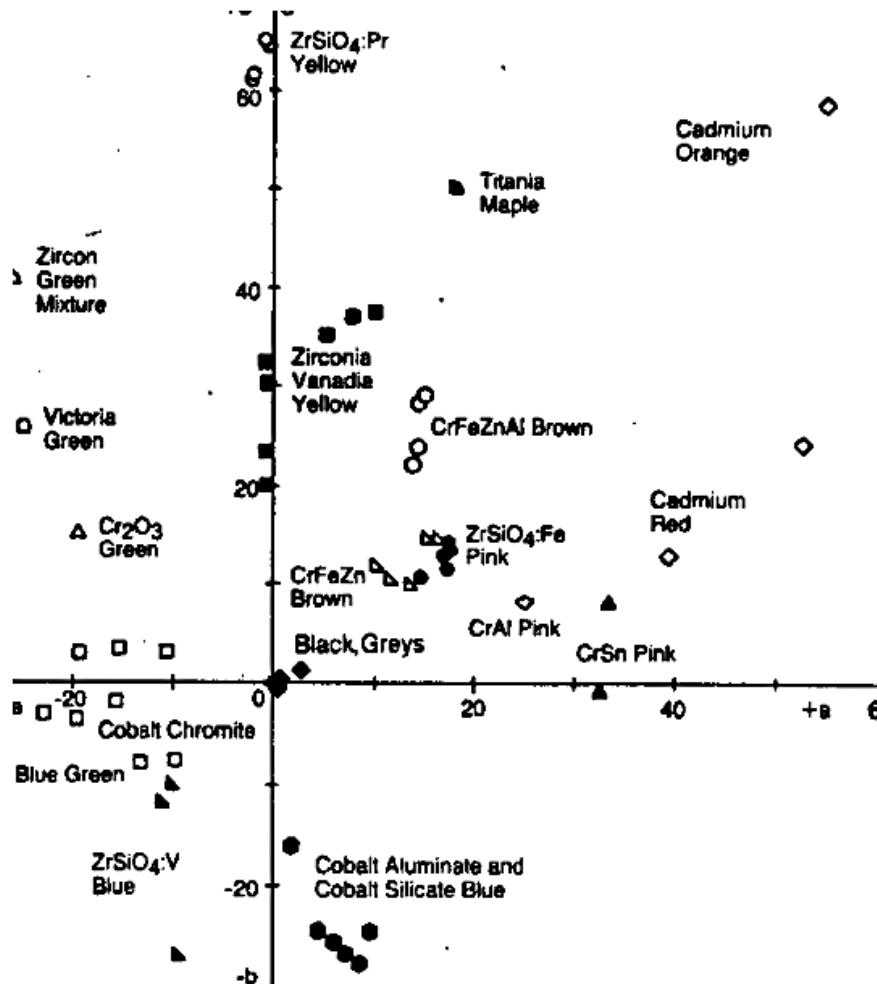


**Cuadro 2: Clasificación de los pigmentos cerámicos según Evans<sup>51</sup>**

Si se clasifican los pigmentos teniendo en cuenta la estructura de la fase cristalina se encuentran entonces 14 grupos divididos así:<sup>52</sup>

|                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 1. Badeleyita         | 2. Borato     |
| 3. Corindón –hematita | 4. Granate    |
| 5. Oliva              | 6. Periclasa  |
| 7. Fenacita           | 8. Fosfato    |
| 9. Priderita          | 10. Firocloro |
| 11. Rutilo-Casiterito | 12. Esfeno    |
| 13. Spinel            | 14. Zircon    |

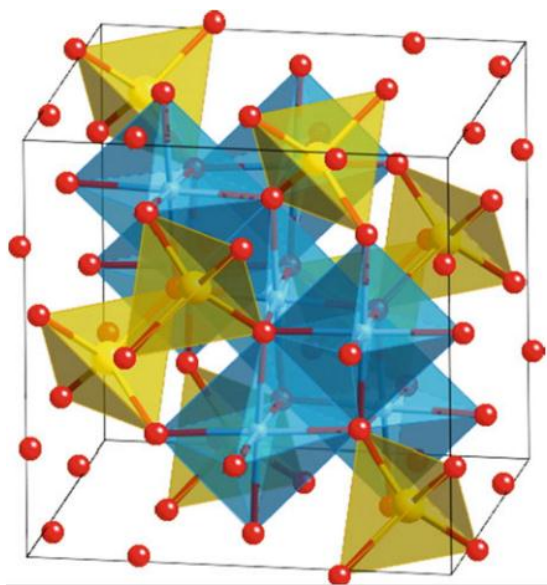
La selección del pigmento viene dada por la estabilidad en el procesado, ubicación en el espacio CIE  $L^*a^*b^*$ , uniformidad y reproducibilidad, tamaño de la partícula y compatibilidad con el sustrato.



Gráfica 2: Ubicación de los principales pigmentos cerámicos en el espacio CIELAB. Tomado de aparte de Química de Materiales Cerámicos – Javier Alarcón.

### 5.3.11 Pigmentos a base de Espinela

Los pigmentos a base de espinela merecen un apartado teniendo en cuenta que involucran una gran parte de color, teniendo a su haber los colores azul, verde, marrón y negro. Son compuestos inorgánicos que no son o solo ligeramente disueltos durante la vitrificación del polvo de vidrio. Cristalográficamente, las espinelas son cubos a cara centrada en el cual los iones de metal pueden ser situados en cualquiera de las orientaciones tetraédrica u octaédrica. Los pigmentos de espinela inorgánicos se han limitado a la sustitución de los iones metálicos de carga similar en las estructuras cristalinas huésped. Los iones metálicos sustituidos pueden encajar en la estructura cristalina de espinela de dos maneras, ya sea en un sitio tetraédrico ocupado o desocupado o en un sitio octaédrico para hacer una solución sólida que está compuesta de una sola estructura cristalina de espinela con uno o más iones metálicos sustitutos<sup>53</sup>.



**Figura 12: Estructura tetraédrica y octaédrica de la espinela  $MgAl_2O_4$**

Los pigmentos inorgánicos pueden estar hechos de múltiples espinelas que se fusionan soluciones de forma sólida. La solución de espinela sólida comprende una espinela disolvente que contiene dentro de su estructura cristalina los óxidos metálicos formadores de espinela; uno o más espinelas son mutuamente solubles y forman una sola relación de fase que hace que sea posible variar los colores<sup>53</sup>.

### 5.3.12 Fluorescencia y pigmentos

La fluorescencia es la emisión de luz por una sustancia que ha absorbido luz u otra radiación electromagnética de una longitud de onda diferente. La fluorescencia más llamativa se produce cuando el objeto absorbe luz en la región UV y emite esta luz en la región visible. El efecto metamérico resulta de este hecho. Al hacer materiales para reemplazar los tejidos de los dientes naturales, generalmente se necesita añadir algunos agentes fluorescentes a la cerámica para tratar de producir un material que pueda dar una fluorescencia cercana a la de los dientes naturales.

La cerámica debe exhibir una fluorescencia basada en colores que están estrechamente relacionados con los tonos de los dientes naturales. El color de la sustancia fluorescente debe ser tal que evite que la composición cerámica de vidrio reduzca su claridad o translucidez. Además, la cerámica debe contener componentes que son seguros para la salud humana. Las propiedades fluorescentes de la cerámica dental deben ser estables a las temperaturas de sinterización y no debe haber ninguna radioactividad asociada con estos. Para llevar a cabo estos requisitos, los materiales fluorescentes deben emitir un color que se encuentra dentro de un rango azul-blanco verdoso de color cuando se ilumina con los rayos ultravioleta a una longitud de onda de aproximadamente 365 nm<sup>53</sup>.

La combinación de óxidos de uranio y óxidos de cerio junto con otros óxidos de tierras raras produce fluorescencia cercana a la de los dientes naturales. En los primeros momentos históricos de la cerámica diversos compuestos de uranio se utilizaron en pequeñas cantidades con el fin de producir la fluorescencia deseada. Se aprobaron las sustancias de la familia de uranio ya que en general resistieron las temperaturas de sinterización y su exposición de fluorescencia estaba estrechamente relacionada con la de los dientes naturales. Sin embargo las sustancias de uranio son materiales radiactivos, y por lo tanto no es deseable añadir estos a cualquier cerámica para ser utilizado en el cuerpo humano, independientemente de sus bajas concentraciones<sup>53</sup>.

El uso de una combinación de óxidos de cerio y terbio con otras tierras raras produce fluorescencia en el rango de luz visible. En adición, la mezcla de óxido de cerio – terbio hace que la cerámica de vidrio presente una fluorescencia bajo la luz ultravioleta de una manera muy superior a la producida por el uranio. Mientras que una sal de cerio produce espectros de



absorción más amplios que la mayor parte de los óxidos de tierras raras, el óxido de terbio presenta fluorescencia en la región azul - verde.<sup>53</sup>

La adición de óxido de Cerio a la frita puede causar burbujas y hace que el vidrio quede poroso. Sin embargo, debido a que se utiliza una pequeña cantidad de óxido de Cerio, no hay ningún problema en su adición.

Las sales de cerio tales como el acetato, acetato hidrato, carbonato, citrato, hidróxido, nitrato, oxalato, o sulfato de Cerio junto con el hidróxido, nitrato, sulfato, u oxalato de Terbio se pueden utilizar con el fin de obtener los colores naturales deseados. La cantidad de tales sales debe ser ajustada para dar cantidades equivalentes de Cerio y / u óxidos de terbio en la vitrocerámica.<sup>53</sup>

Una cerámica de vidrio de uso odontológico, pueden exhibir fluorescencia a través de la adición del óxido de metal de tierras raras, europio. La excitación por medio de este material en el rango del ultravioleta cercano muestra un tono similar a la de los dientes naturales. El uso de activador de europio es adecuado para la producción de fluorescencia en cerámicas de feldespato y leucita, nefelina o alúmina. Estas cerámicas incluyen la composición de aluminosilicatos de base sobre la que el europio puede actuar<sup>53</sup>.

Los elementos que podrían utilizarse como sustancias fluorescentes para ayudar a la activación con europio incluyen Cerio e iterbio como activadores auxiliares, en la forma de  $\text{CeO}_2$  y  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ , respectivamente, para una adecuada fluorescencia con respecto al material de base. Alrededor de 1 % en peso de las sustancias fluorescentes se añade al material de base para obtener las composiciones de cerámicas dentales fluorescentes. Cuando los contenidos adecuados tanto de  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  y  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  se añaden a la cerámica en polvo, se logra una fluorescencia de un tono blanco azul<sup>53</sup>.

## 6. Aspectos Metodológicos

### 1.1 Tipo de Estudio

Corresponde a un estudio experimental debido a que se busca comparar el grado de translucidez, opacidad y fluorescencia de muestras de dióxido de zirconio monolítico modificadas y sin modificar en su apariencia mediante pigmentos, además de compararlos con una cerámica de alta estética como el disilicato de litio. Es cuantitativo porque los resultados serán comparados directamente sin calificación, categorización o caracterización de los mismos; es de corte transversal e *in vitro* porque los resultados se dan en una sola medición y no hay continuidad en el eje del tiempo.

### 6.2. Unidades de estudio

Muestras de dióxido de zirconio monolítico y disilicato de litio sinterizados

### 6.3. Muestra

Se seleccionó la casa comercial Ivoclar Vivadent® que maneja los dos materiales implicados en las unidades de estudio:

1. Dióxido de zirconio monolítico translucido ZENOSTAR Ivoclar Vivadent® Color Light correspondiente al color A2.
2. Cerámica reforzada con disilicato de litio e.max PRESS® color A2, de alta translucidez (HT).

Del dióxido de zirconio monolítico se tomaron 10 muestras en las condiciones originales y otras 10 muestras modificadas mediante técnica de stains en la superficie. Del disilicato de litio se extrajeron 10 muestras en este caso solo sin modificaciones.

## **6.4. Variables**

- Translucidez
- Opacidad
- Fluorescencia
- Material de restauración
- Empleo de stains

## 7. Materiales y Métodos

Se describe en primer lugar el material de uso odontológico, posteriormente la manipulación realizada, el dispositivo de medida y las condiciones de transmitancia y reflectancia así como la ubicación de parámetros en CIEL\*a\*b\*.

### 7.1 Materiales dentales

#### 7.1.1 Marcas de cerámicas

Un sistema de dióxido de zirconio monolítico fue elegido para este estudio: Un disco de ZENOSTAR Ivoclar Vivadent® de 10mm de diámetro, color Light correspondiente al color A2. Entre sus características están:

**Densidad:**  $> 6.0 \text{ g/cm}^3$

**Dureza Vickers:** 1,300 HV10

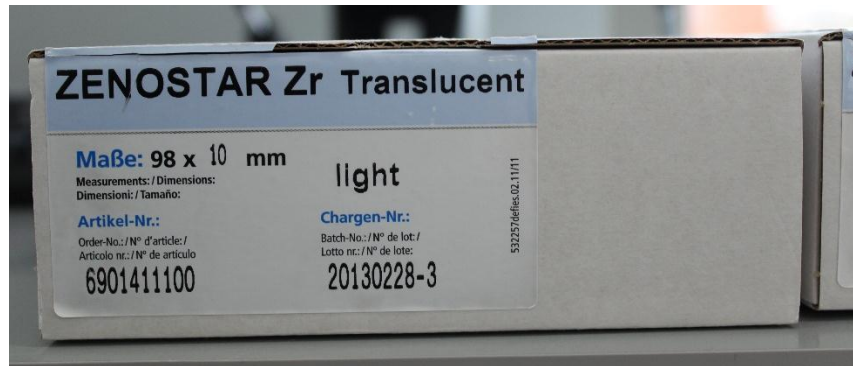
**Resistencia Flexural:** 1200 MPa  $\pm$  200

**Módulo elástico:** 210 GPa

**Resistencia a la fractura:**  $>5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

**Coeficiente de expansión térmica:** (25-500°C)  $10.5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

**Composición Química:** Dióxido de Zirconio ( $\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ) > 99.0% óxido de Itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) > 4.5 - ≤6.0%, óxido de Hafnio ( $\text{HfO}_2$ ) ≤ 5.0%, óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + otros óxidos ≤ 1.0%



**Imagen 1:** Presentación Comercial de Zenostar® en colores pure, light, médium, intense, sun, sun chroma

El segundo material empleado corresponde a una cerámica de vidrio de disilicato de litio de amplio uso en restauraciones estéticas indirectas denominado e.max Press de Ivoclar Vivadent®.

**Coeficiente de Expansión Térmica** (100-400°C) [10<sup>-6</sup> /K] 10.2

**Coeficiente de Expansión Térmica** (100-500°C) [10<sup>-6</sup> /K] 10.5

**Resistencia a la flexión (biaxial)** [MPa]\* 400

**Resistencia a la rotura** [MPa m<sup>0.5</sup>] 2.75

**Módulo de elasticidad** [GPa] 95

**Dureza Vickers** [MPa] 5800

**Solubilidad química** [μg/cm<sup>2</sup>]\* 40

**Temperatura de inyección** [°C/°F] 915-920/1679-1688



*Imagen 2: Presentación comercial de las pastillas de e.max press HT A2*

### 7.1.2 Matrices

Una vez realizadas las pruebas previas e identificadas las características del aparato de medición, se estableció que era necesario estandarizar el área de las muestras en 10mm de largo por 12

mm de alto. Para que los resultados pudieran ser extrapolables y para garantizar el paso de la luz se determinaron los espesores mínimos según la indicación clínica de la casa fabricante para cada uno, es decir, para Zenostar® se utilizaron espesores de 0,6mm para las 20 muestras y para e.max press® espesores de 1,2mm para las otras 10 muestras.

### 7.1.3 Material de manipulación de las muestras

Para la obtención de las muestras se emplearon para el caso de Zenostar® placas de acetato calibradas en 0,6m bajo las dimensiones ya mencionadas, un modelo en yeso tipo III y fresas de diamante de baja velocidad; para e.max press® se empleó cera calibrada para colados en 1,2mm, todo el sistema de inyección de e.max press®, segueta, arenador, fresas de diamante de baja velocidad y un calibrador pie de rey digital.

### 7.1.4 Escaneado y maquinado de las muestras de Zenostar®

Para el escaneado se utilizó un escáner D800 mini que tiene la capacidad de exploración de texturas por medio de cámaras de 5.0 megapíxeles, empleando tiempos de escaneado de 25 a 100 segundos según el tipo de estructura y discrepancias menores a las 20µm.



*Imagen 3: Escaner D810 Mini Wieland®*

Para el maquinado se empleó el sistema Zenotec® que dispone de diversos tipos de máquinas de fresado así como escáneres y programas de construcción. Combina un sistema de fresado CNC compacto con cinco ejes de operación simultánea con las ventajas de la fabricación automatizada y dimensiones externas altamente compactas. Posee la capacidad para almacenar y programar 8 discos para ser fresados y el manejo de otros materiales adicionales al dióxido de zirconio: PMMA, cera, poliuretano, Co/Cr tipo III y titanio grado II y V.

Los discos Zenotec® son piezas brutas de diferentes materiales y sirven para la fabricación de prótesis dentales. Todos los discos tienen un diámetro de 98,5 mm, son ofrecidos en diferentes grosores y pueden ser elaborados en varias etapas. La máquina de fresado ZENOTEC *mini* cuenta con las siguientes características:



### 7.1.5 Hornos de sinterización y glaseado de las muestras

El proceso de sinterización para ZENOSTAR se dio siguiendo las indicaciones del fabricante en el PROGRAMAT S1 que es un horno de sinterización liviano y compacto para el sinterizado de estructuras hechas con IPS e.max ZirCAD y otros materiales en  $ZrO_2$ . El glaseado se realizó



mediante un horno PROGRAMAT S500 siguiendo las indicaciones del fabricante.



## 7.2 Dispositivos de medida

**ESPECTROFOTOMETRO:** Para este estudio se utilizó el espectrofotómetro Cary 5000, el cual es un espectrofotómetro UV-Vis-NIR que se desempeña en el rango de 175-3300 nm. Es controlado por el software Cary WinUV, un software modular basado en Windows, el cual hace que sea fácil realizar análisis de gran alcance y controlar una serie de accesorios opcionales. El compartimiento grande de la muestra se puede ampliar para portar los accesorios y la integración de esferas para reflectancia espectral y difusa.

## 7.3 Método experimental

### 7.3.1 Ambiente de trabajo

Las muestras del dióxido de zirconio monolítico fueron realizadas en los laboratorios de Ivoclar Vivadent en Bogotá, donde se contaba con los equipos ya nombrados del sistema ZENOTEC de

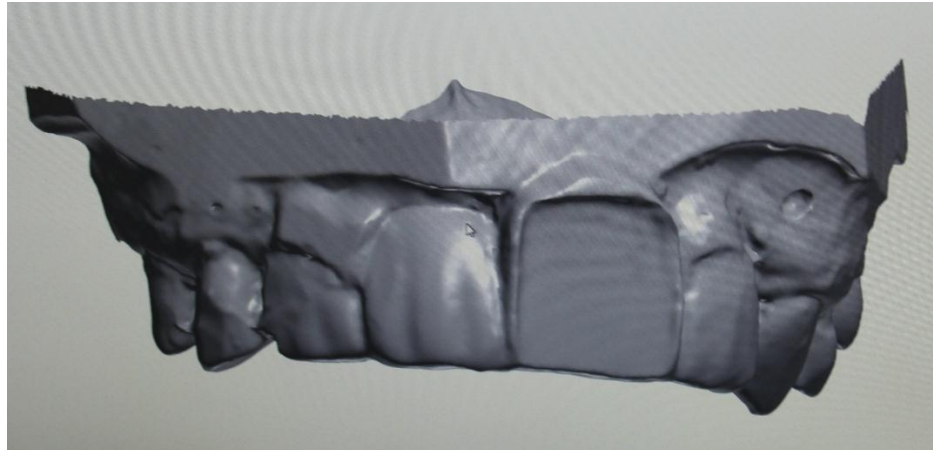
Wieland®. Las muestras del disilicato de litio fueron obtenidas en el laboratorio Marcial Calle de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### **7.3.2 Preparación y manipulación de las muestras de Dióxido de Zirconio**

En vista de que la forma de presentación del Zenostar® es en discos presinterizados listos para ser maquinados mediante CAD/CAM fue necesario diseñar un método para lograr la obtención de las muestras bajo nuestras características por medio del fresado.

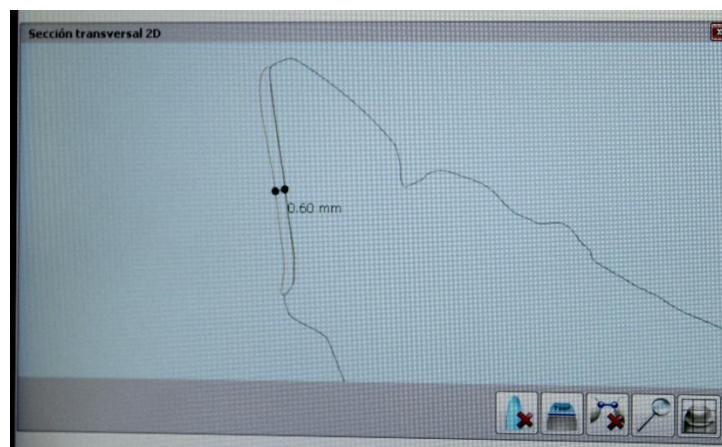
Debido a que el software de planeación del ZENOTEC solo identifica estructuras asociadas a fabricación de restauraciones y no a otro tipo de diseños que no estén en relación con formas dentales, involucrando incluso prediseños, fue necesario crear un modelo que permitiera simular que nuestras muestras de 10mm x 10mm x 0,6 mm serían empleadas como carillas de un diente central. La placa de acetato que nos sirvió de matriz fue posteriormente ubicada en vestibular de un diente central de un modelo elaborado en yeso tipo III, simulando ser una carilla. A partir de esto se diseñaron los contornos, líneas de terminación y morfología en general para que dicho modelo tuviera la capacidad de enmascarar una preparación para una restauración indirecta.

Posteriormente se retiró la placa de acetato, se definió la línea terminal en el modelo y se ubicó en el escáner del ZENOTEC® para ser leído. Las placas fueron calibradas mediante un calibrador pie de rey digital para garantizar el menor margen de discrepancia antes de ser expuesta al escáner.

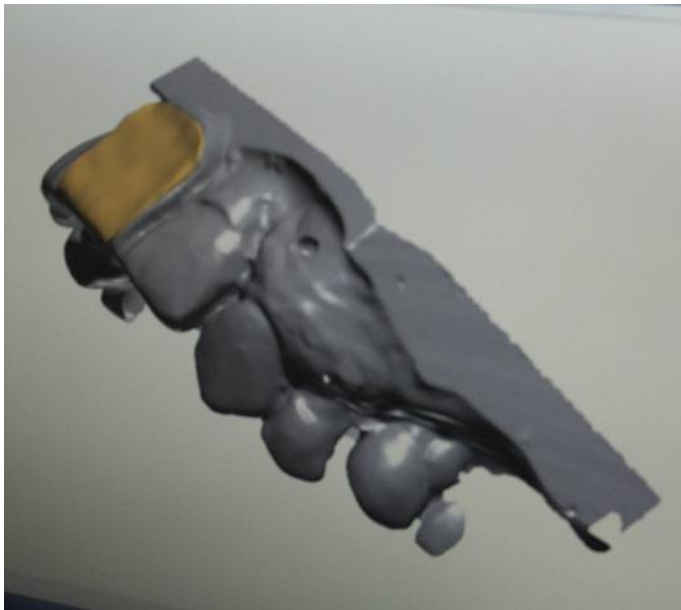
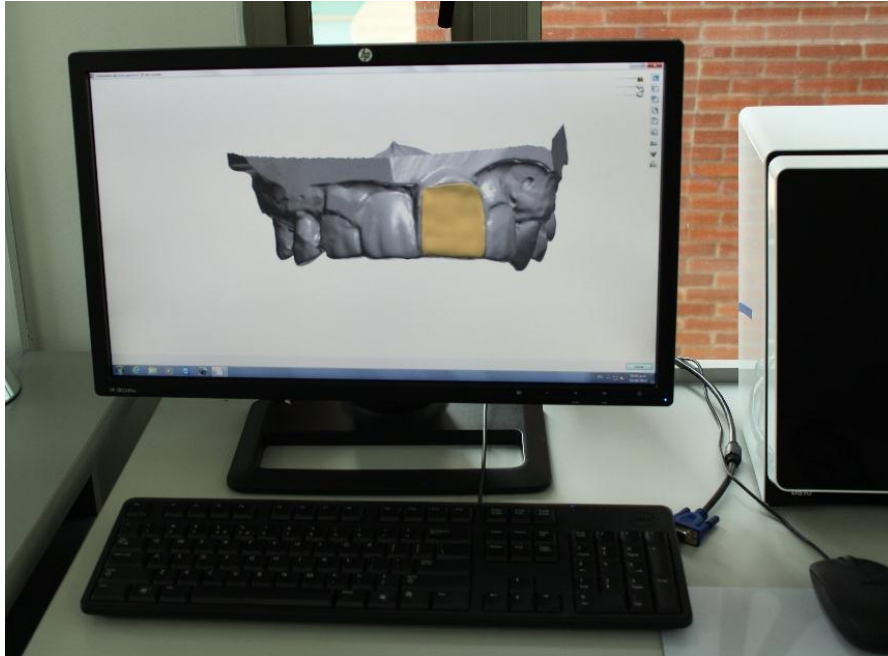


*Imagen 4: Digitalización del modelo con la preparación para la carilla*

Una vez digitalizado el modelo se siguieron todos los pasos de modelado del software, eligiendo como tipo de restauración la carilla, modificando las preformas sugeridas por el mismo y estableciendo el espesor que requeríamos. Es importante anotar que no fue necesario compensar la contracción del dióxido de zirconio en el diseño físico ni digital de las muestras, ya que cada disco tiene indicado su porcentaje de contracción y el sistema mediante la lectura de un código de barras identifica todos los datos de fabricación del disco mismo, incluso su coeficiente de contracción, compensándolo directamente en el procesado con un tamaño mayor de la muestra previo a la sinterización. En este caso escogimos un disco de dióxido de zirconio monolítico pre coloreado al color Light, al cual pertenece el A2.



*Imagen 5: Configuración del espesor de la "carilla" en 0,6mm*



*Imagen 6: Modelado de la carilla y vista tridimensional*

### 7.3.3 Fresado y separación de las muestras

Una vez digitalizado el diseño de las muestras en el software de WIELAND® fue posible escoger los sitios del disco en donde se debían fresar las muestras, de tal forma que se lograron 10 muestras en un disco, por lo cual para conseguir completar las 20 muestras que corresponden 10 al grupo sin modificación y 10 al grupo modificado con stains se emplearon dos discos de ZENOSTAR®. Previo al fresado es posible elegir, en vista de que son varias restauraciones, la opción de agrupación para realizar un solo trabajo simultáneamente, así como elegir las estrategias de fresado, manejando direcciones, texturas y terminados entre otros. Una vez realizados todos los ajustes, se activa la opción fresar y la maquina empieza el proceso de elaboración.

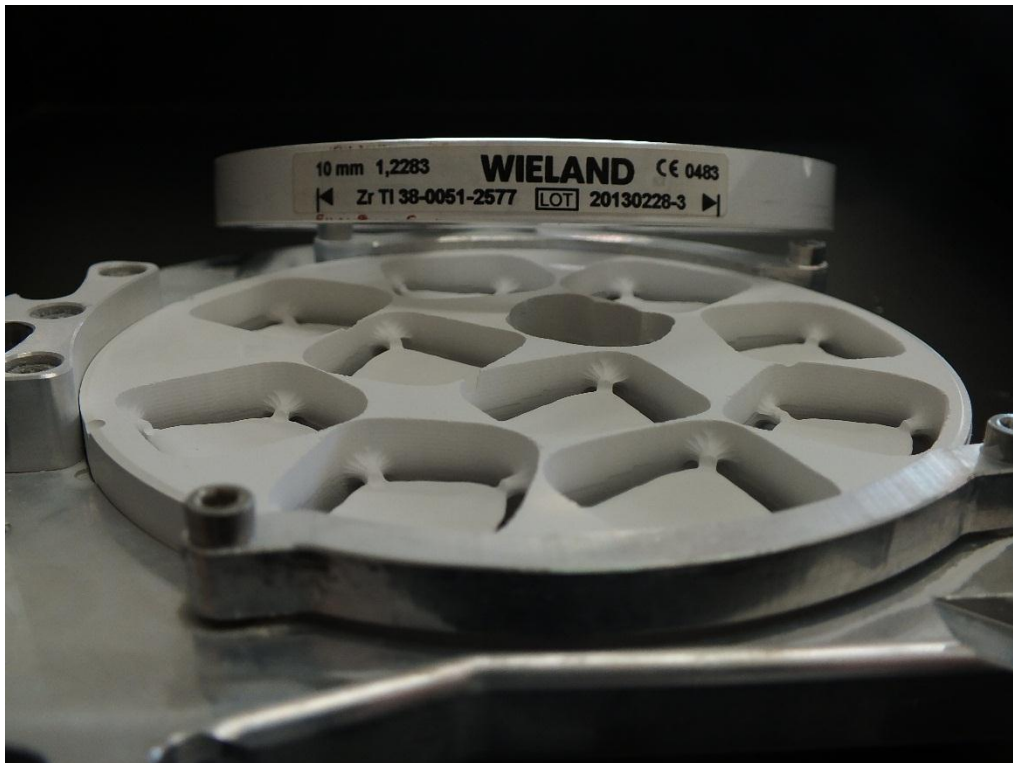


*Imagen 7: Maquina de fresado ZENOTECH select*

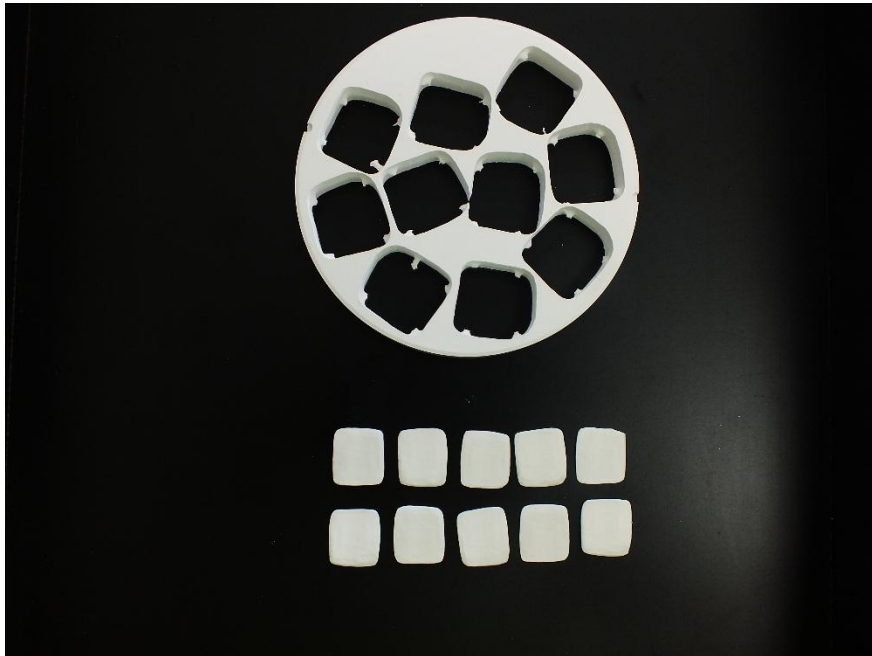


*Imagen 8: sistema interno para posicionamiento de discos de ZENOTEC*

Una vez extraídos los discos de sus respectivas posiciones se utilizaron fresas de diamante de baja velocidad para separar las restauraciones obtenidas del disco, tal cual sucede en un colado.



*Imagen 9: Discos extraídos con las muestras en posición*



*Imagen 10: Muestras extraídas del disco*

### **7.3.4 Sinterización de las muestras**

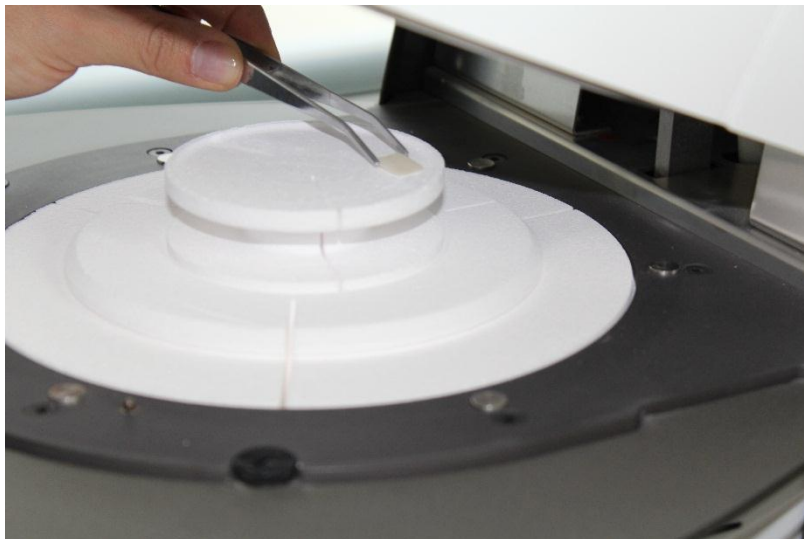
Al separar las muestras se procedió al proceso de sinterización, que siguiendo las indicaciones del fabricante se realizó en el PROGRAMAT S1 que es un horno de sinterización liviano y compacto para el sinterizado de estructuras hechas con IPS e.max ZirCAD y otros materiales en  $ZrO_2$ .

Mediante la introducción de parámetros para crear un programa, se empleó durante un tiempo de aproximadamente 2 horas y 50 minutos, en los cuales se daba el paso de  $20^{\circ}C$  a  $900^{\circ}C$ , el consecuente tiempo de mantenimiento en esta, el posterior paso de  $900^{\circ}C$  a la temperatura final de  $1450^{\circ}C$  para pasar a la temperatura de enfriamiento, teniendo siempre en cuenta las tasas de cambio de temperatura por hora.



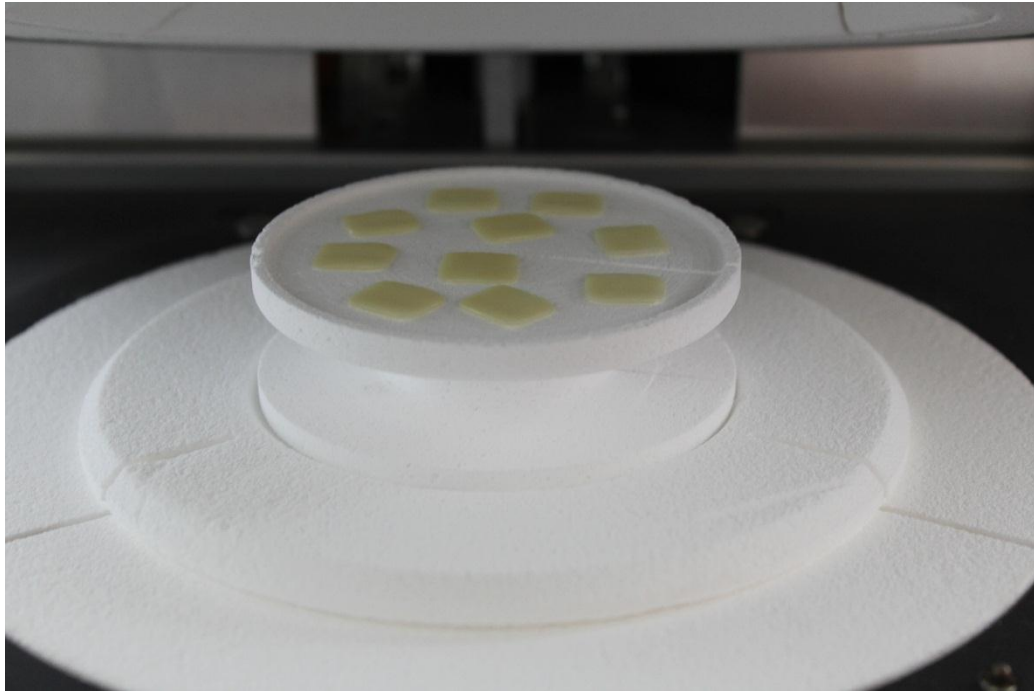


***Imagen 11: Horno de sinterización Programat S1***



***Imagen 12: Recolección de muestras***





*Imagen 13: Muestras sinterizadas*

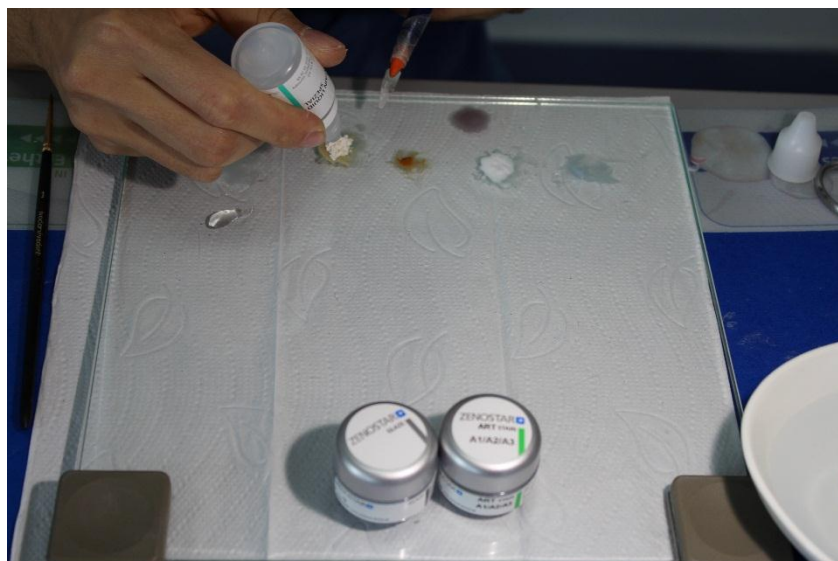
### 7.3.5 Maquillaje con stains

Al estar sinterizadas las muestras, de las 20 preparadas se toman 10 para ser modificadas en su apariencia mediante técnica de maquillaje. Para esto se han empleado los stains de la casa Wieland® específicos para este tipo de dióxido de zirconio, siempre buscando mantener el color en el A2 pero con una caracterización mucho más definida que permita cambiar la apariencia de toda la muestra. Zenostar Art Module® funciona con 16 colores clásicos que van de A-D y con 4 adicionales Bleach, con técnica de stains en pasta o en polvo. La suma entre el Zenostar Zr Traslucent (color del disco) más los Zenostar Art Stain más Zenostar Art Incisal Stain (Gris/Violeta-Traspa/Azul) dan el color final a la restauración.

Todo el sistema de Zenostar Art Module® tiene los siguientes componentes:

- 11 Zenostar Art Stains para la caracterización de dientes según el A-D y colores Bleach

- 16 Zenostar Stains para la individualización de la restauración por maquillaje o por Cut-Back
- 2 Zenostar Art Incisal Stains para el efecto de profundidad en la parte incisal
- 4 Zenostar Body Stains para la caracterización de dientes según el A-D
- 2 Zenoflex dimensión One Uni para la construcción de Zenostar restauraciones reducidas
- 4 Zenoflex dimensión Core Stains para lograr una coloración parecida a pastel en las estructuras de zirconio
- 3 masas de glasear

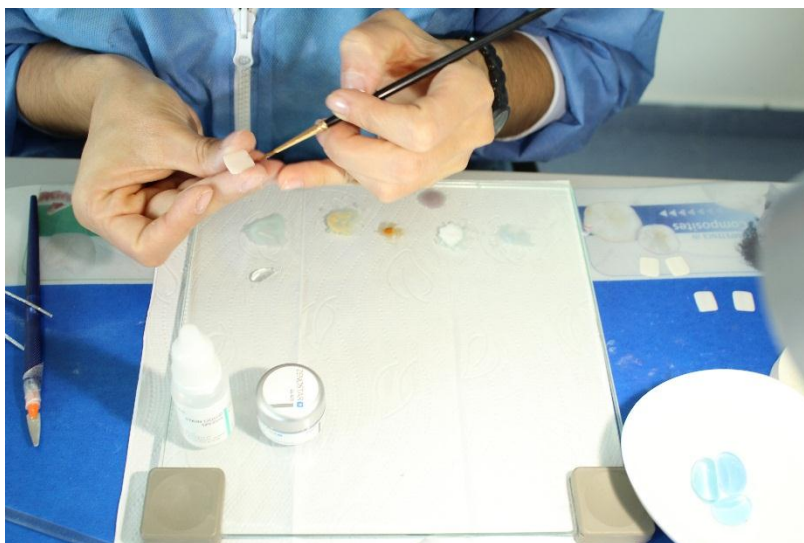




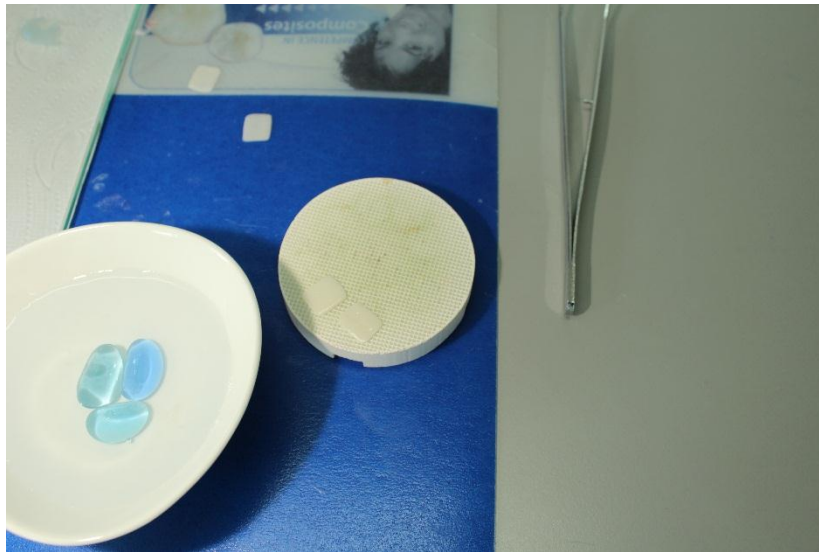
*Imagen 14: Maquillaje con stains del Zenostar Art Module*

### **7.3.6 Glaseado**

Tan pronto como se ha logrado despejar las muestras de excesos y posibles contaminaciones, se procede a la aplicación de ZENOSTAR ART STAIN GLAZE que corresponde al material de glaseado empleado para estas restauraciones.

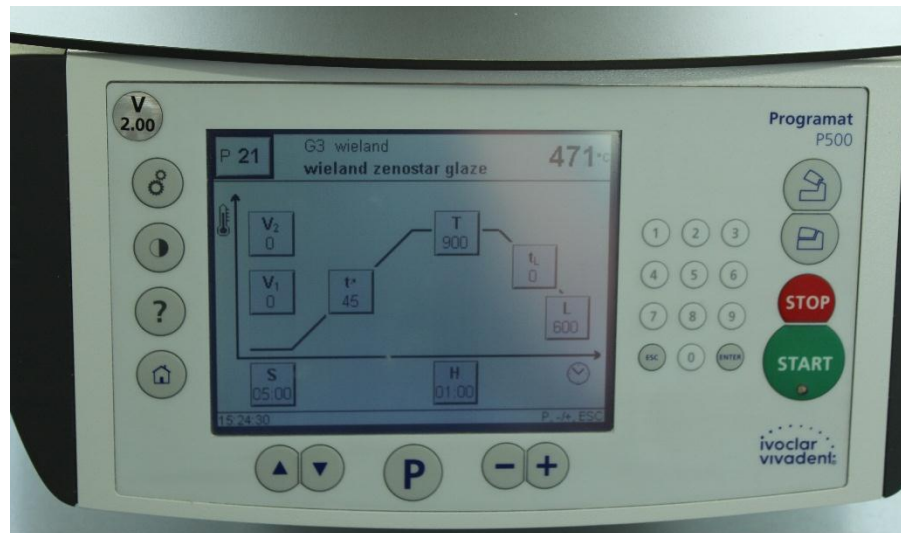






*Imagen 15: Aplicación del glaze para las muestras*

Una vez aplicado ya se encuentran listas para la cocción del glaseado en un horno PROGRAMAT P500, bajo las siguientes características:



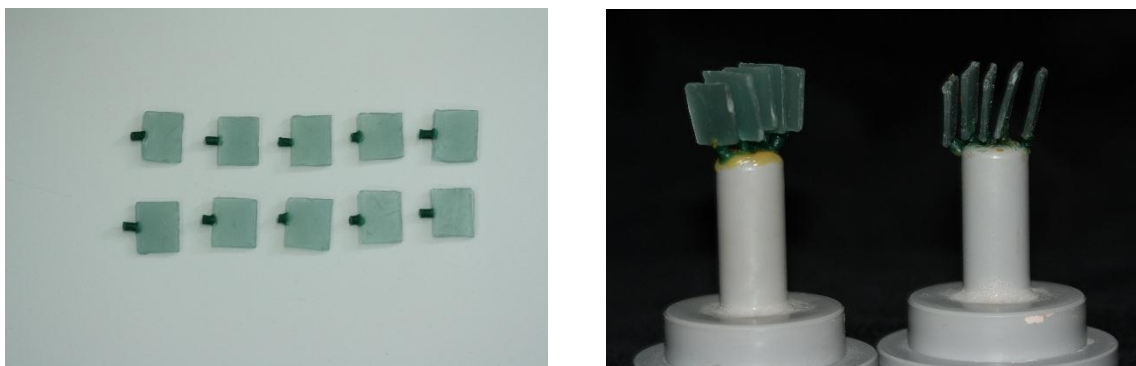
*Imagen 16: Cocción de glaseado en PROGRAMAT P500*



*Imagen 17: Muestras de Zenostar modificadas con stains*

### **7.3.7 Obtención de muestras de disilicato de litio**

**Preparación y manipulación de las muestras de disilicato de litio:** Se tomó una lámina de cera calibrada en 0,6mm para colados. De esta lamina se obtuvieron 10 cortes de 10mm por 12mm que posteriormente fueron montadas en dos anillos, de a 5 en cada anillo siliconado de inyección bajo las indicaciones del fabricante, teniendo en cuenta principalmente que la suma entre la muestra y el bebedero no tuviera una extensión mayor a 15mm. El espesor sería verificado una vez más con un calibrador pie de rey.

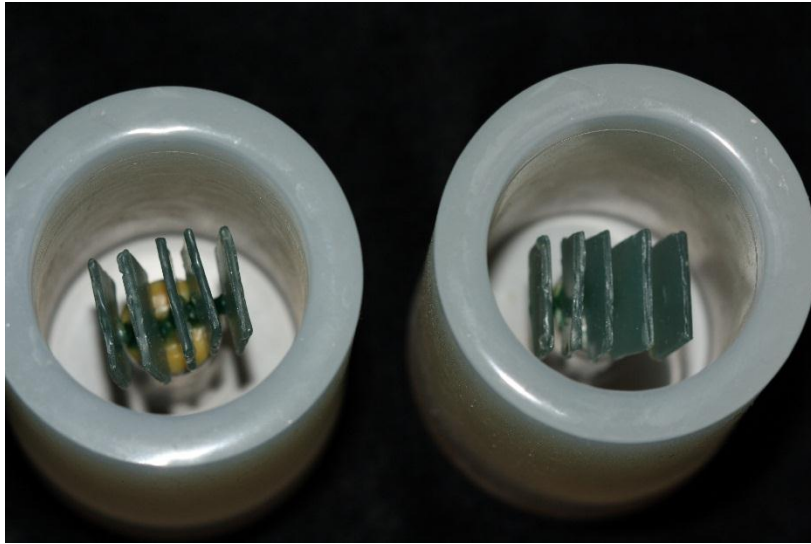


**Imagen 18: Preparación y montaje de las muestras en el anillo de inyección**

Una vez ubicadas las muestras en el anillo se realizó la preparación y colocación del revestimiento, según las indicaciones de Ivoclar Vivadent®.



**Imagen 19: Colocación del revestimiento**

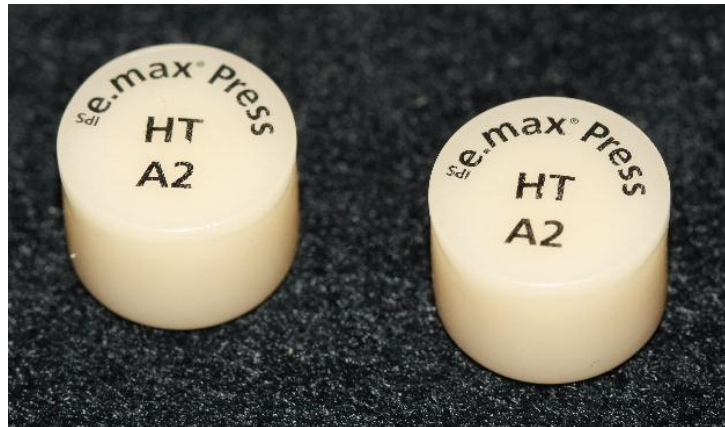


*Imagen 20: Preparación del revestimiento*

Para el momento de la inyección se tomaron entonces dos pastillas de e.max press color A2 de alta translucidez, según se estableció previamente en el protocolo:

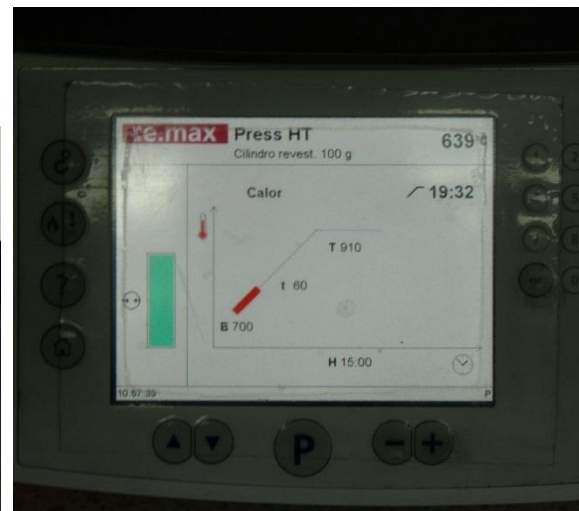
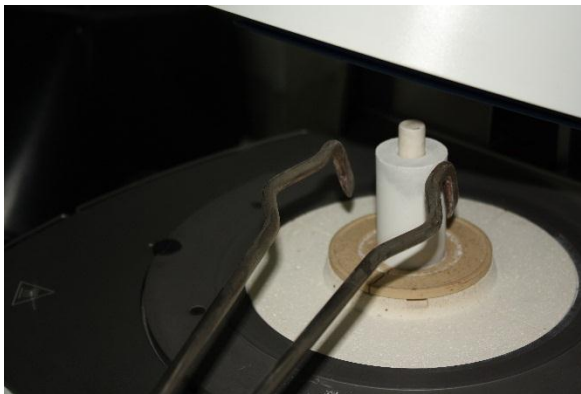




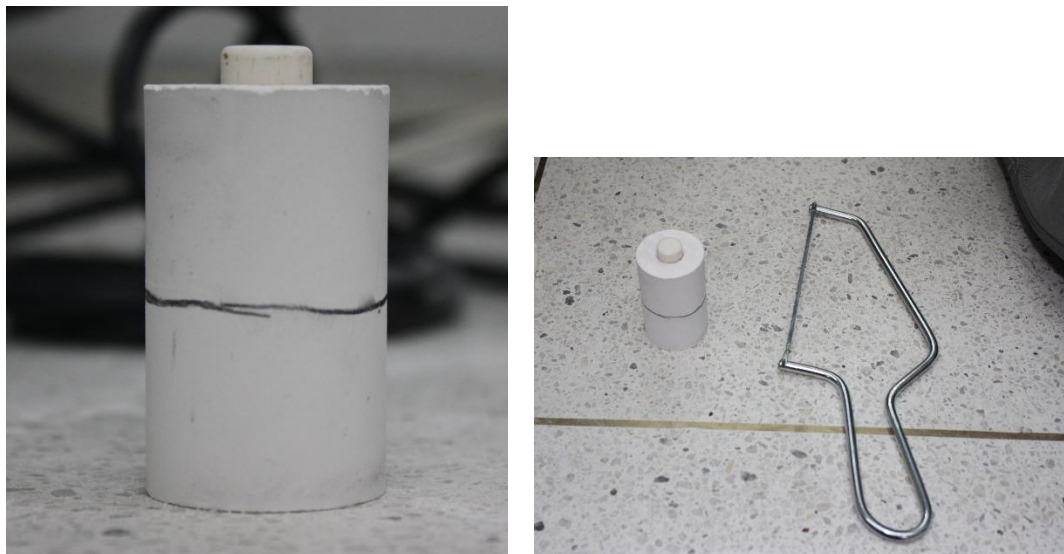


*Imagen 21: Pastillas de e.max Press de alta translucidez empleadas para el estudio*

**Inyección:** Este procedimiento se realizó en el horno PROGRAMAT P500, ubicado en el laboratorio Marcial Calle de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional; estableciendo el programa para el manejo de este material bajo estas características.



**Desmontaje del revestimiento:** El desmontaje de las muestras se realizó marcando con un lápiz la altura a la cual tentativamente se encontraba el embolo de empuje y con una cegueta se seccionó a este nivel.



Posteriormente se procedió con el arenado, el desmontaje de las muestras del arbol y el seccionamiento de estas con fresas de diamante, para la obtención final de las diez muestras de e.max press®.

### 7.3.8 Lecturas de espectrofotometría

Se realizaron las lecturas a través del espectrofotómetro Cary5000 donde se midió reflectancia y transmitancia en tiempos diferentes obtenidos a través del software Varian Cary Win del espectrofotómetro, alcanzando los resultados presentados en el siguiente capítulo medidos en las longitudes de onda de 200 a 800 nm.

Para la toma de la reflectancia se usó un aditamento denominado esfera de integración. Esta esfera es un elemento empleado en la óptica para sumar todo el flujo radiante reflejado o radiado por una muestra sin importar la dirección hacia donde refleja o radia.



*Imagen 22: Espectrofotómetro Cary 5000*



*Imagen 23: Esfera integradora de reflectancia*



*Imagen 24: Porta muestras para transmitancia*

### 7.3.9 Ubicación del color en el espacio CIE L\*a\*b\*

Por medio de la aplicación *Color* del Cary WinUv se lograron obtener al mismo tiempo los valores triestimulares, las coordenadas cromáticas xyz y los valores de CIE L\*a\*b\*. Estas se establecieron teniendo en cuenta el iluminante D65 y el observador a 2°<sup>54</sup>. A demás también fue posible verificar los datos mediante la formulación matemática de las siguientes ecuaciones:

$$X = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda)$$

$$Y = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda)$$

$$Z = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda)$$

$$K = \frac{100}{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda)}$$

Donde:

$S(\lambda)$  = Energía espectral relativa del iluminante CIE

$R(\lambda)$  = Factor de reflectancia del objeto

$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$  = Funciones de mezcla definidas por el observador patrón para cada una de las longitudes de onda visibles.

$K$  = constante de luminancia relativa

Una vez determinados los valores triestimulares se determinan ahora si los valores de L\*a\*b\*:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

Para determinar la translucidez se empleó el parámetro de translucidez (TP) que establece la diferencia entre las reflectancias obtenidas con el fondo negro y el fondo blanco, mediante la siguiente ecuación<sup>55</sup>:

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Entre más grande sea el valor mayor es la translucidez y menor la opacidad. La comparación del color entre grupos se realizó empleando los valores promedio de cada grupo en cuanto a las variables  $L^*a^*b^*$ , mediante la siguiente formula<sup>54</sup>:

$$\Delta E^*_{ab} = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

### 7.3.10 Determinación de la Fluorescencia

La fluorescencia se determinó de manera cualitativa, mediante el uso de una fuente de emisión de luz ultravioleta en un sitio de absoluta oscuridad y se procedió a la comparación fotográfica y visual entre las muestras de los tres grupos.

Se empleó una lámpara UV para laboratorio Electrolite® de dimensiones 3.25" x 13.25" x 2.5", 8.3 x 33.7 x 6.4cm y peso de 1.2kg, 115 voltios, 60 Hz y .20amps. Esta lámpara tiene combinaciones entre onda cortas, medias y largas de UV y dispone de un reflector especular de aluminio que optimiza la radiación UV. Esta lámpara se encuentra disponible para investigaciones en el laboratorio de macromoléculas +del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Bajo estas condiciones se pudo hacer un análisis puramente descriptivo de los tres tipos de cerámicas.



*Imagen 25: Lampara de luz UV de onda larga Spectrolite®*





Se empleó un software SPSS para el análisis estadístico y se estableció el nivel de probabilidad para significancia estadística en  $\alpha=0,05$ . Se empleó inicialmente una prueba de normalidad, posteriormente un análisis de varianza (ANOVA), una prueba de comparación múltiple de Tukey y por ultimo un análisis de correlación.



## 8. Resultados

### 8.1 Valoración de pruebas estadísticas empleadas

El análisis de varianza o de manera breve ANOVA, se refiere en términos generales a una colección de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas de unidades experimentales. El problema ANOVA más simple se conoce como ANOVA de un solo factor o ANOVA a una vía, y tiene que ver con el análisis de datos muestreados de más de dos poblaciones numéricas (distribuciones) o de datos de experimentos en los que se ha usado más de dos tratamientos. La característica que distingue a los tratamientos o poblaciones entre sí se conoce como factores bajo estudio, y los diferentes tratamientos que se le aplica o hace a cada población se conocen como niveles del factor.

El objetivo final del ANOVA es probar la igualdad entre las medias de la variable cuantitativa que se está midiendo en cada uno de los de los diferentes factores.

En muchas situaciones experimentales hay dos o más factores que son de interés, simultáneamente, para el estudio; pues se supone que no solo una variable categórica está incidiendo en la variable de respuesta, además de sus posibles interacciones pueden estar asociadas a la variable respuesta.

Si el estadístico F es lo suficientemente grande, se rechaza la hipótesis nula de que las medias de todos los grupos son iguales, de lo contrario se acepta. La significancia estadística de la razón (división) de F es mucho más fácil de juzgar por su valor de P (p-value). Si el valor de P es menor que el nivel de significancia (predeterminado casi siempre como  $\alpha=0.05$ ), la hipótesis nula de medias iguales se rechaza al nivel de significancia del 5%. Esto no implica que cada una de las medias sea significativamente diferente de cada una de las otras. Simplemente implica que no



todas las medias son iguales. Determinar qué medias son significativamente diferentes de las demás requiere de pruebas adicionales llamadas “Pruebas de Comparación por pares”, como se señala a continuación.

#### Pruebas De Comparaciones Múltiples De Tukey:

Para determinar qué medias muestrales son significativamente diferentes de cuáles otras, se pueden realizar algunas pruebas de comparaciones múltiples, o también llamadas Pruebas de Rangos Múltiples.

Tukey: Amplía los intervalos para permitir múltiples comparaciones entre todos los pares de medias, usando:

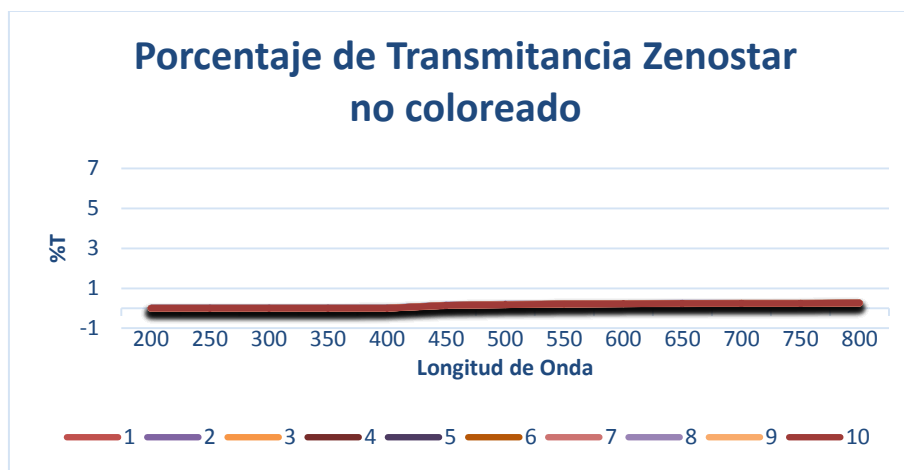
$$M = T_{\alpha/2, q, n-q}$$

que usa la T de Tukey en vez de la t de Student. La T de Tukey es igual a  $(1/\sqrt{2})$  veces la distribución de rangos estudentizados, Neter et al. (1996). Tukey llamó a su procedimiento el procedimiento de la Diferencia Honestamente Significativa (Honestly Significant Difference) ya que la tasa de error por experimento es  $\alpha$ . Si todas las media son iguales, la probabilidad de declarar cualquiera de los pares significativamente diferente en todo el experimento es igual a  $\alpha$ . El procedimiento de Tukey es más conservador que el procedimiento de la LSD de Fisher, ya que hace más difícil declarar que cualquier par específico de medias sea significativamente diferente.

La distribución espectral y los valores de CIE  $L^*a^*b^*$  fueron medidos mediante reflectancia así como mediante transmitancia. Cada distribución espectral varió según el método y el grupo evaluado.

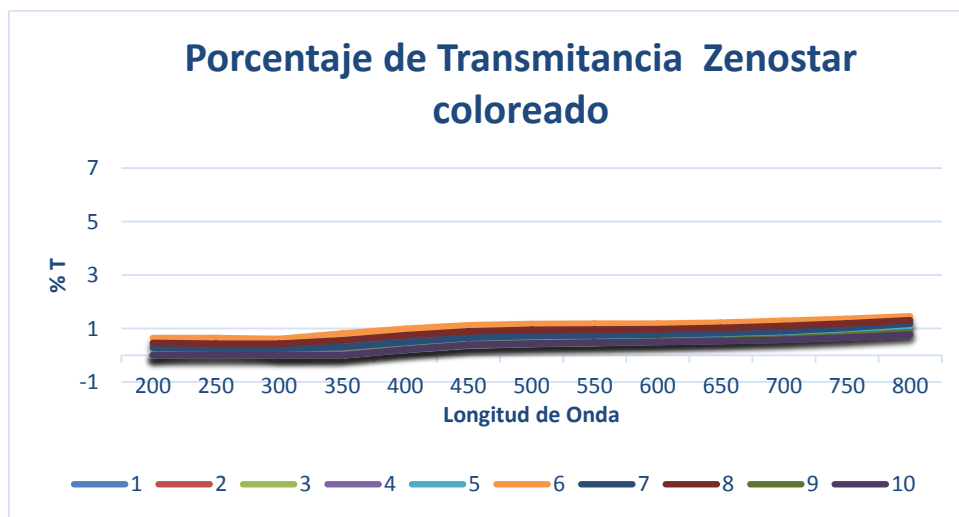
## 8.2 Comparación por transmitancia

**Gráfica 3: Porcentaje de Transmitancia del dióxido de zirconio monolítico sin modificación con stains**



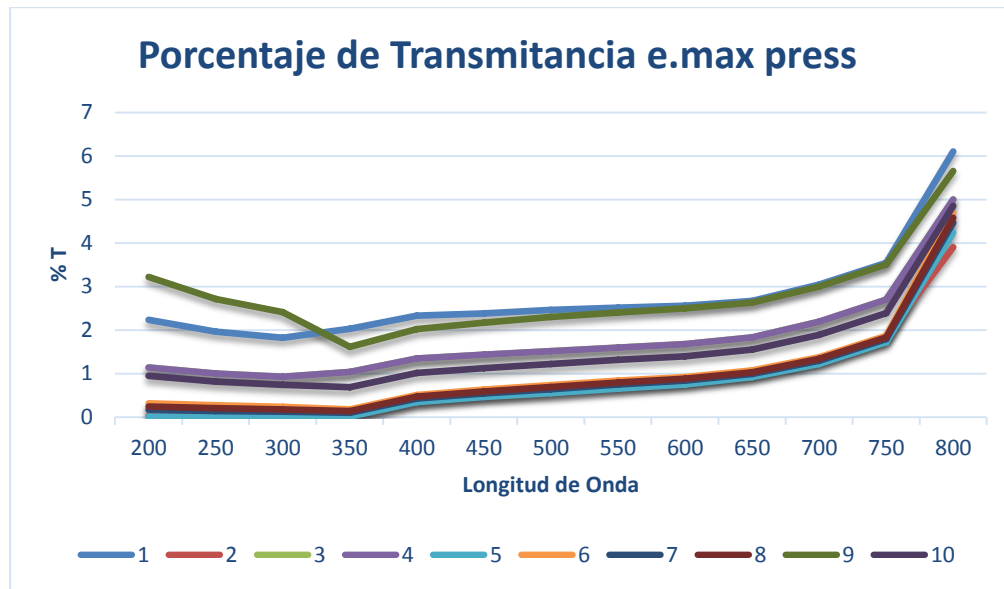
Se observa en la gráfica valores considerablemente menores a 1 con una distribución uniforme en la curva espectral y mostrando una casi nula variabilidad para todas las muestras a lo largo de todas las longitudes de onda.

**Gráfica 4: Porcentaje de Transmitancia del dióxido de zirconio monolítico modificado mediante técnica de Stains**



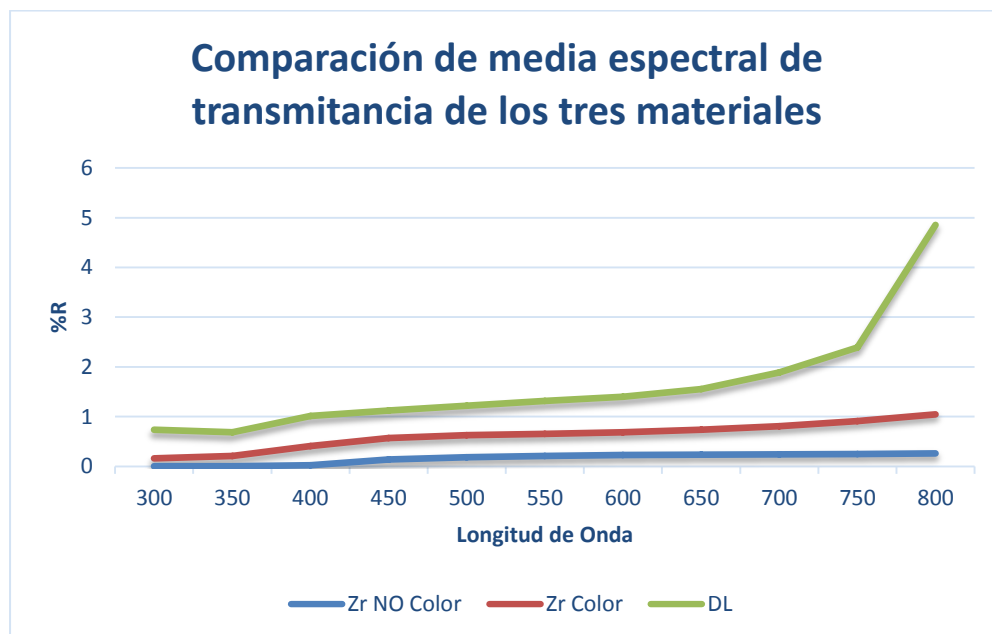
Aquí se identifica que los valores de transmitancia se acercan mucho más al valor 1, y que la disposición se da en aumento a medida que se acerca el espectro al infrarrojo cercano; teniendo en cuenta valores incluso inferiores al 0 pero con una menor opacidad que en el grupo de los no coloreados.

**Gráfica 5: Porcentaje de Transmitancia del Disilicato de Litio**



En cuanto a transmitancia del disilicato de litio se observa una gran variabilidad en cuanto a las muestras evaluadas, sin embargo se identifica un patrón irregular pero ascendente a partir del espectro de luz visible. Los valores en comparación con los otros grupos se muestran mucho más elevados, poniendo de manifiesto una opacidad menor.

**Gráfica 6: Comparación de espectros de transmitancia de los tres tipos de cerámicas**



En la media de los tres grupos es evidente las diferencias en cuanto a transmitancia presentando patrones más lineales los dos grupos de dióxido de zirconio, mientras que el disilicato demuestra mejores comportamientos ópticos a longitudes de onda mayores.

**Tabla 4: Resumen estadístico para Transmitancia**

| Material            | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación | Mínimo | Máximo |
|---------------------|----------|----------|---------------------|---------------------------|--------|--------|
| Disilicato de Litio | 10       | 1,653    | 0,705078            | 32,65%                    | 0,99   | 2,86   |
| Zenostar Color      | 10       | 0,558    | 0,244304            | 43,78%                    | 0,35   | 1,05   |
| Zenostar No Color   | 10       | 0,14     | 0,00816497          | 5,83%                     | 0,13   | 0,16   |
| Total               | 30       | 0,783667 | 0,770618            | 98,33%                    | 0,13   | 2,86   |

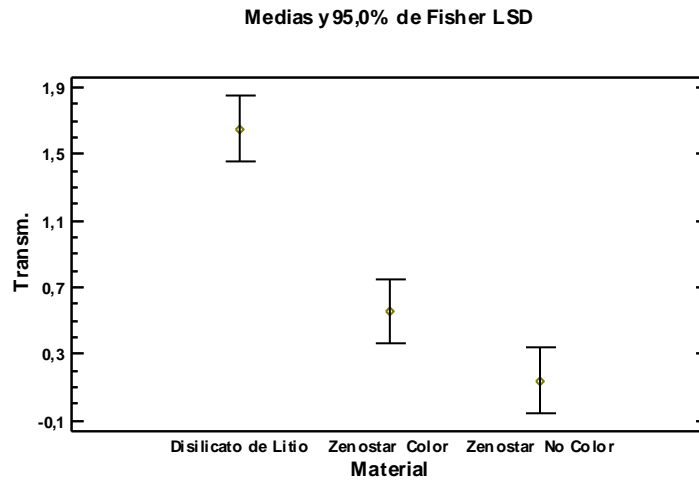
Esta tabla muestra diferentes estadísticos de transmitancia para cada uno de los 3 niveles de materiales. De manera general se pudo observar que los promedios de estos grupos proporcionan grandes diferencias estadísticas. Adicionalmente las variabilidades de los tres grupos son diferentes (entre grupos) y las medidas intra-grupo son muy pequeñas para Zenostar No Coloreado, medias para Zenostar Coloreado y altas para el Disilicato de Litio.

### Análisis de Varianza a una vía

**Tabla 5: Tabla de Medias para Transmitancia por Material con intervalos de confianza del 95,0%**

| Material            | Error Est. |          |              |                 |                 |
|---------------------|------------|----------|--------------|-----------------|-----------------|
|                     | Casos      | Media    | (s agrupada) | Límite Inferior | Límite Superior |
| Disilicato de Litio | 10         | 1,653    | 0,136246     | 1,45533         | 1,85067         |
| Zenostar Color      | 10         | 0,558    | 0,136246     | 0,360326        | 0,755674        |
| Zenostar No Color   | 10         | 0,14     | 0,136246     | -0,0576741      | 0,337674        |
| Total               | 30         | 0,783667 |              |                 |                 |

Esta tabla muestra los promedios para la variable Transmitancia. Incluye medias por Material, y la media global. Cada una de ellas proporciona error estándar y una estimación por intervalo de confianza al 95%. La gráfica que se encuentra a continuación lo pone en evidencia:

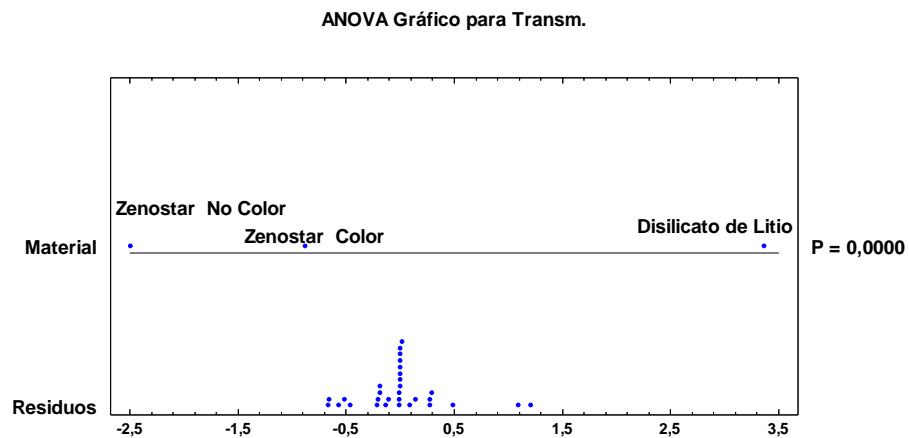


**Tabla 6: Tabla ANOVA para transmitancia**

| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos  | 12,2097           | 2  | 6,10486        | 32,89   | 0,0000  |
| Intra grupos  | 5,01197           | 27 | 0,185629       |         |         |
| Total (Corr.) | 17,2217           | 29 |                |         |         |

Esta tabla muestra una comparación entre los promedios de Transmitancia entre materiales, la cual bajo un nivel de significancia del 5% presenta diferencias estadísticamente importantes (F-Fisher= 32.89 y p-value=0.0000) entre los grupos.

Lo anterior se puede visualizar en el siguiente gráfico el cual señala diferencias para los niveles.



**Tabla 7: Pruebas de Múltiple Rangos para Transmitancia por Material**

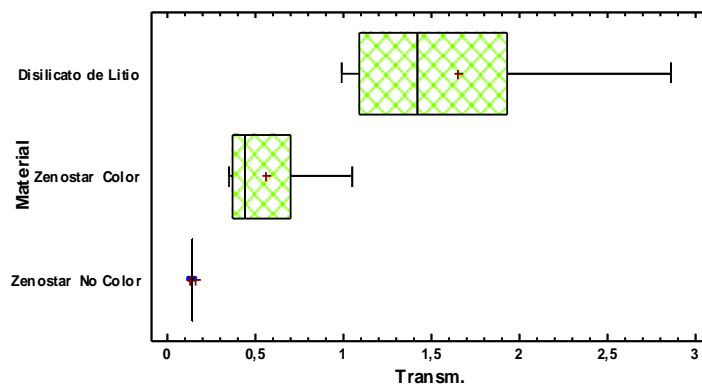
| Material            | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------------|-------|-------|-------------------|
| Zenostar No Color   | 10    | 0,14  | X                 |
| Zenostar Color      | 10    | 0,558 | X                 |
| Disilicato de Litio | 10    | 1,653 | X                 |

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

| Contraste                               | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|---|------|------------|-------------|
| Disilicato de Litio - Zenostar Color    | *    | 1,095      | 0,477865    |
| Disilicato de Litio - Zenostar No Color | *    | 1,513      | 0,477865    |
| Zenostar Color - Zenostar No Color      |      | 0,418      | 0,477865    |

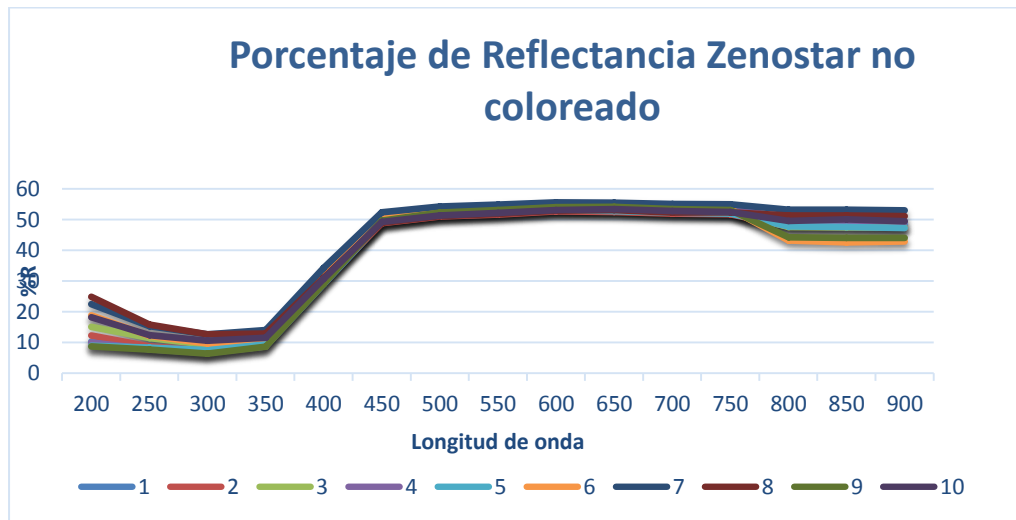
\* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la anterior salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a un par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. De lo anterior se pudo observar que al comparar los tres niveles de materiales, existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos primeros pares, mientras que el último par no hay diferencias significativas; lo que implica es que el primer grupo (Disilicato de Litio) es distinto a los demás. La comparación entre los tipos de materiales se presenta a continuación, de forma gráfica.

**Gráfico Caja y Bigotes**

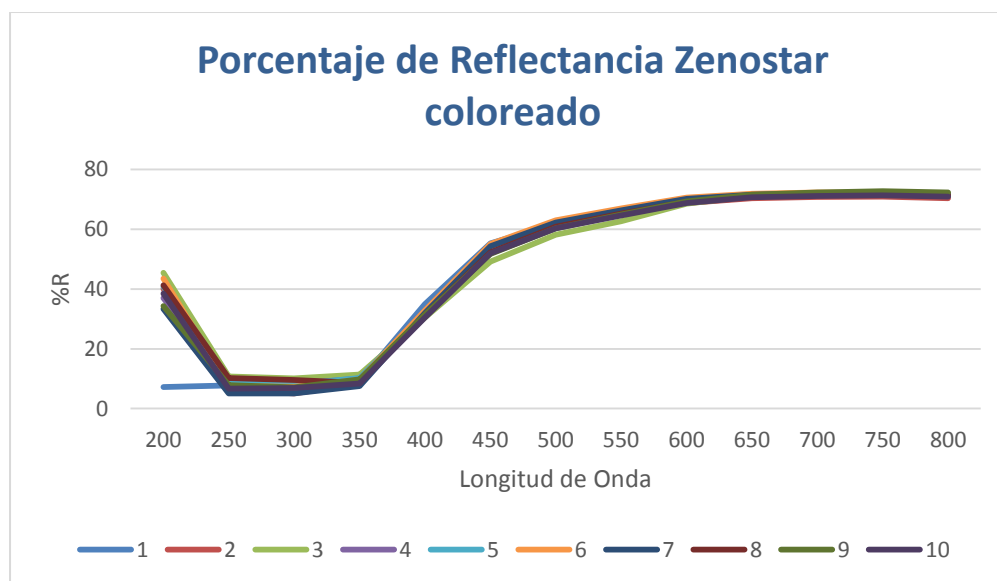
### 8.3 Comparación por reflectancia

*Gráfica 7: Porcentaje de reflectancia de dióxido de zirconio monolítico sin modificación con stains*



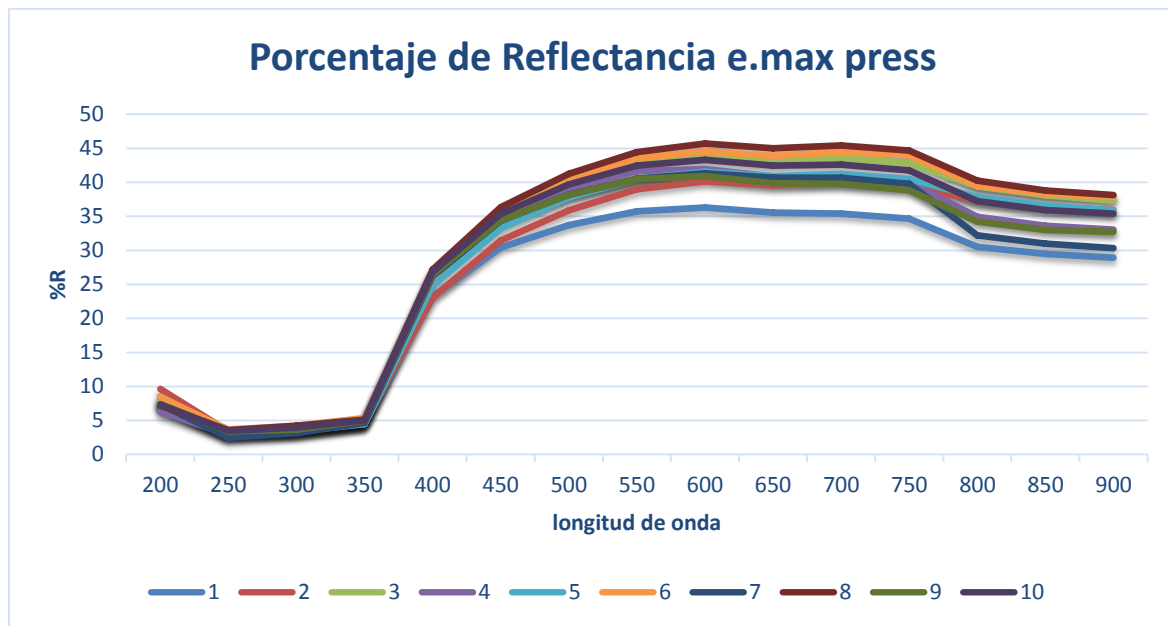
Esta gráfica muestra un cambio importante al inicio del espectro de luz visible, aumentando el nivel de reflectancia hasta valores por encima del 50%, teniendo la mayor reflectancia hacia las zonas del espectro comprendidas por el amarillo y el rojo. En esta medición se observa un patrón uniforme para todas las muestras con valores altos en el espectro del visible.

*Gráfica 8: Porcentaje de Reflectancia dióxido de Zirconio monolítico modificado con stains*



Es evidente un patrón más uniforme en los espectros de las 10 muestras en relación con la transmitancia del mismo grupo. Se observa que a partir de los 350nm los valores de reflectancia aumentan de manera directa a medida que aumenta también la longitud de onda, logrando valores de reflectancia del 70%. Estos valores fueron obtenidos a partir del fondo negro y tendrán un valor importante una vez estén relacionados con los de reflectancia bajo fondo negro en cuanto a las coordenadas del CIE  $L^*a^*b^*$ .

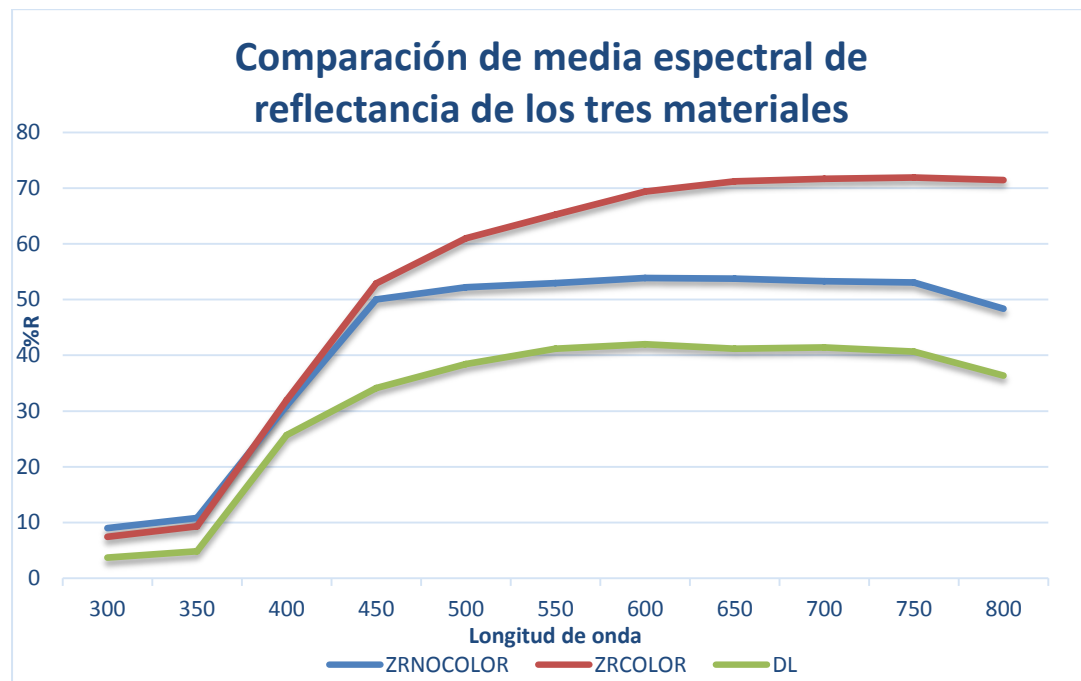
**Gráfica 9: Porcentaje de reflectancia de disilicato de litio**



En cuanto a e.max press logra su mayor reflectancia hacia los 600nm, correspondiente con el anaranjado, mostrando un patrón de mayor uniformidad con respecto a la medición de transmitancia para todas las muestras de este grupo. Los valores más altos están alrededor de 45% con algo similar a una meseta en el espectro visible.



Gráfica 10: Comparación de espectros en reflectancia de la media de los tres grupos



Al comparar la media espectral de los tres materiales es evidente como la mayor reflectancia en fondo negro estuvo a cargo del Zenostar coloreado, seguido por el Zenostar no coloreado y con una diferencia importante contra el disilicato de litio. Esto teniendo en cuenta las características del material puede dar indicios de una relación inversa entre reflectancia y translucidez.

## 8.4 Valores para CIE $L^*a^*b^*$ en reflectancia sobre fondo blanco y negro

Tabla 8: Media y desviación estándar (SD) para valores de CIE  $L^*a^*b^*$  de cada grupo

| GRUPO     | MODO DE REFLECTANCIA SOBRE FONDO BLANCO |       |       | MODO DE REFLECTANCIA SOBRE FONDO NEGRO |        |        |
|-----------|---|-------|-------|--|--------|--------|
|           | $L^*$                                   | $a^*$ | $b^*$ | $L^*2$                                 | $a^*3$ | $b^*4$ |
| ZRNOCOLOR | 92,34                                   | -1,21 | 10,04 | 75,50                                  | -1,02  | 4,21   |
| SD        | 0,27                                    | 0,17  | 0,02  | 1,40                                   | 0,03   | 0,11   |
| ZRCOLOR   | 91,27                                   | -0,28 | 10,10 | 71,48                                  | -0,77  | 7,26   |
| SD        | 1,01                                    | 0,03  | 0,19  | 0,67                                   | 0,11   | 0,25   |
| DL        | 93,91                                   | 0,20  | 16,82 | 70,29                                  | -0,83  | 8,89   |
| SD        | 1,20                                    | 0,24  | 1,14  | 0,70                                   | 0,06   | 0,16   |

Teniendo en cuenta el espectro de reflectancia sobre fondo blanco se puede observar que la luminosidad es mayor en el grupo de ZR no color, seguido por el Zenostar color y por último el disilicato de litio. En cuanto a los valores de  $a^*$  el disilicato mostró una mayor tendencia hacia el rojo en ambos fondos y en cuanto a  $b^*$  se presentó una valoración mayor hacia el amarillo por parte del disilicato de litio en relación con los otros dos grupos.

## 8.5 $\Delta E^*_{ab}$ entre grupos

**Tabla 9: Diferencias de color entre pares de grupos**

| Comparación de Grupos      | $\Delta E^*_{ab}$ |
|----------------------------|-------------------|
| <b>ZRNOCOLOR – ZRCOLOR</b> | 2,1455            |
| <b>ZRNOCOLOR-DL</b>        | 7,9526            |
| <b>ZRCOLOR-DL</b>          | 3,8386            |

En cuanto a las diferencias de color siguiendo la escala De Johnston y Kao<sup>68</sup> para la significancia clínica se puede observar que las diferencias entre los grupos de Zirconia son muy leves, pero que en relación al *gold standar* puede generar mejores resultados colorear que no colorear.

## 8.6 Parámetros de translucidez (TP)

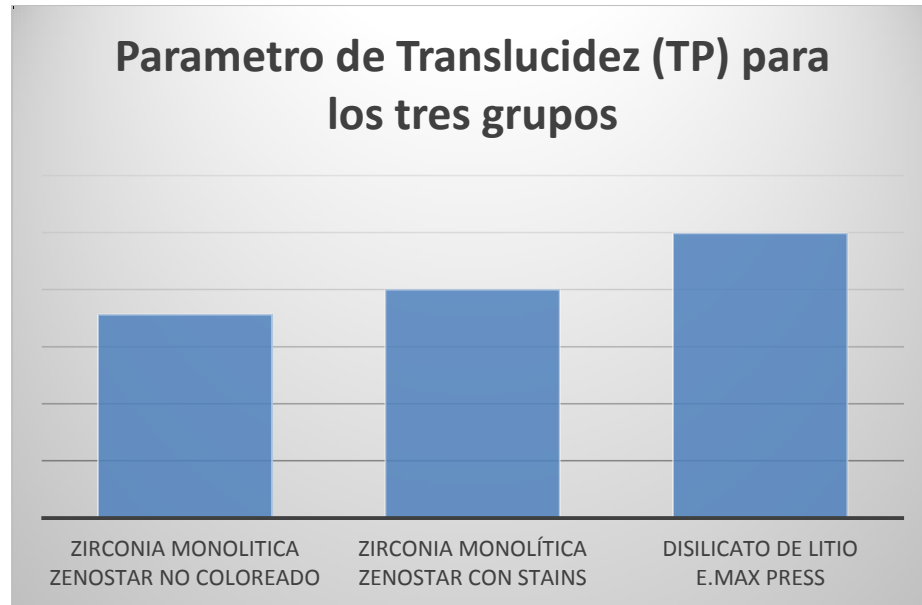
**Tabla 10: Análisis estadístico para el parámetro de translucidez**

| Material                   | Recuento | Promedio | Desviación Estándar | Coeficiente de Variación | Mínimo | Máximo |
|----------------------------|----------|----------|---------------------|--------------------------|--------|--------|
| <b>Disilicato de Litio</b> | 10       | 24,953   | 1,52329             | 6,10%                    | 22,78  | 27,17  |
| <b>Zenostar Color</b>      | 10       | 20,006   | 1,36463             | 6,82%                    | 18,09  | 22,16  |
| <b>Zenostar No Color</b>   | 10       | 17,829   | 1,48172             | 8,31%                    | 14,94  | 19,62  |
| <b>Total</b>               | 30       | 20,9293  | 3,34225             | 15,97%                   | 14,94  | 27,17  |

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de PT para cada uno de los 3 niveles del material. La intención principal de esta tabla es la de comparar las medias de los diferentes niveles. De

manera general, los promedios de estos grupos proporcionan diferencias estadísticas. Sin embargo las variabilidades de los tres grupos son relativamente pequeñas y algo homogéneas, señalando esto medidas similares dentro de cada grupo.

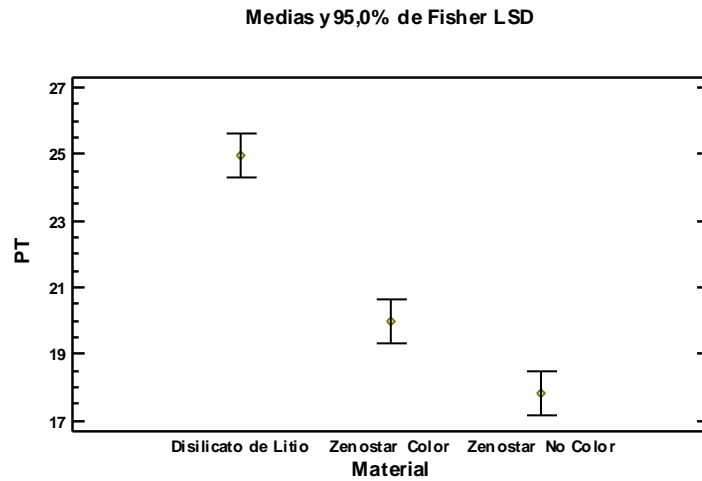
**Gráfica 11: Translucidez de los tres grupos de cerámicas**



**Tabla 11: Tabla de Medias para PT por Material con intervalos de confianza del 95,0%**

| <i>Material</i>     | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Error Est.<br/>(s agrupada)</i> | <i>Límite Inferior</i> | <i>Límite Superior</i> |
|---------------------|--------------|--------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Disilicato de Litio | 10           | 24,953       | 0,46109                            | 24,284                 | 25,622                 |
| Zenostar Color      | 10           | 20,006       | 0,46109                            | 19,337                 | 20,675                 |
| Zenostar No Color   | 10           | 17,829       | 0,46109                            | 17,16                  | 18,498                 |
| Total               | 30           | 20,9293      |                                    |                        |                        |

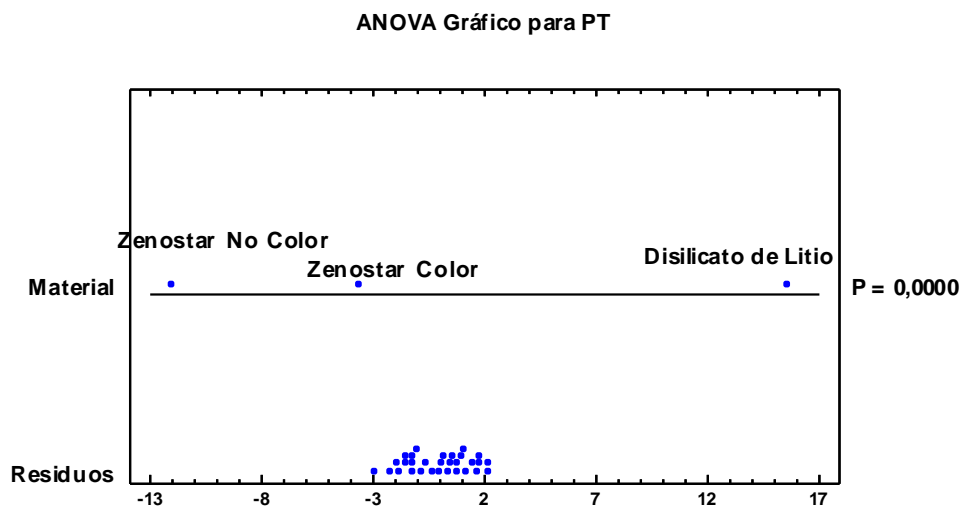
Esta tabla muestra los promedios para la variable PT. Incluye medias por Material, y la media global. Cada una de ellas proporciona error estándar y una estimación por intervalo de confianza al 95%.



**Tabla 12: ANOVA para PT por Material**

| Fuente        | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos  | 266,545           | 2  | 133,273        | 62,69   | 0,0000  |
| Intra grupos  | 57,4031           | 27 | 2,12604        |         |         |
| Total (Corr.) | 323,948           | 29 |                |         |         |

Esta tabla muestra una comparación entre los promedios de PT entre materiales, la cual bajo un nivel de significancia del 5% presenta diferencias estadísticamente importantes (F-Fisher= 62.69 y p-value=0.0000) entre los grupos. Lo anterior se puede visualizar en el siguiente gráfico el cual señala diferencias para los niveles.



**Tabla 13: Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD**

| Material            | Casos | Media  | Grupos Homogéneos |
|---------------------|-------|--------|-------------------|
| Zenostar No Color   | 10    | 17,829 | X                 |
| Zenostar Color      | 10    | 20,006 | X                 |
| Disilicato de Litio | 10    | 24,953 | X                 |

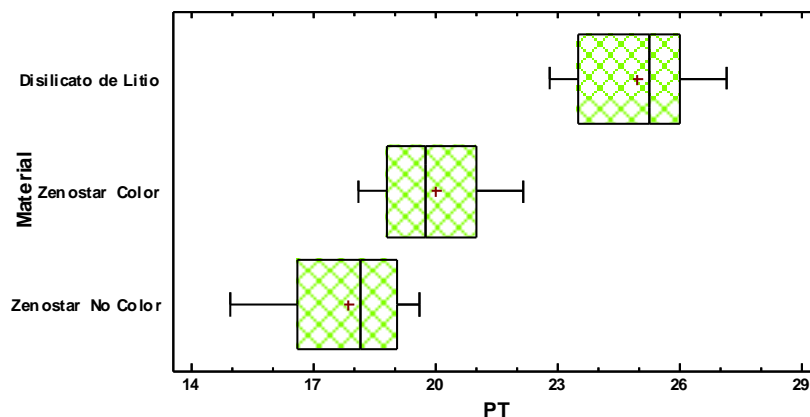
**Tabla 14: Pruebas de Múltiples Rangos para PT por Material**

| Contraste                               | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|---|------|------------|-------------|
| Disilicato de Litio - Zenostar Color    | *    | 4,947      | 1,61722     |
| Disilicato de Litio - Zenostar No Color | *    | 7,124      | 1,61722     |
| Zenostar Color - Zenostar No Color      | *    | 2,177      | 1,61722     |

\* indica una diferencia significativa.

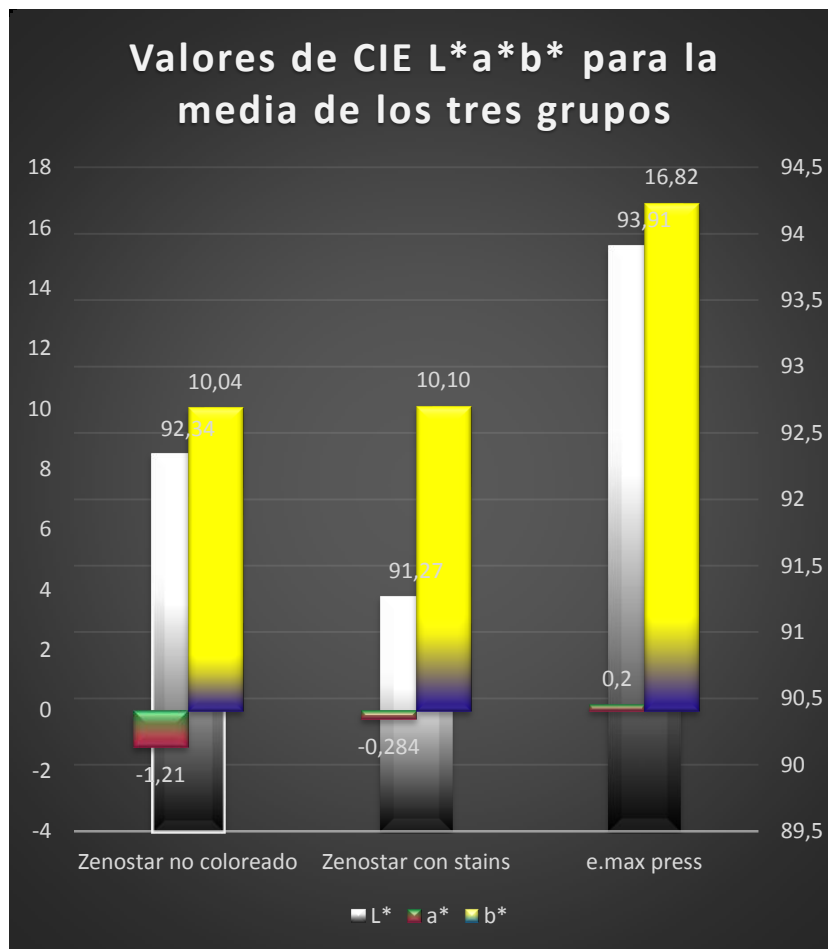
Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a un par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. De lo anterior se pudo observar que al comparar los tres niveles de materiales, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres pares, lo que implica es que los tres grupos son distintos. La comparación entre los tipos de materiales se presenta a continuación, de forma gráfica.

**Gráfico Caja y Bigotes**



## 8.7 Comparación de valores CIE L\*a\*b\*

Gráfica 12: Valores de CIE L\*a\*b\* para los tres tipos de cerámicas



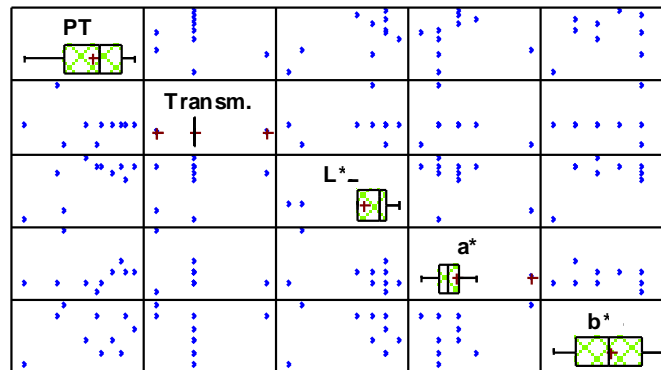
En cuanto a la comparación de valores del CIE L\*a\*b\* se encuentra que el e.max press presenta un mayor grado de luminosidad, mayor tendencia hacia el amarillo y un neutro en la escala del verde-rojo. El Zenostar coloreado presenta una mayor luminosidad al ser comparado contra el Zenostar no coloreado, con una tendencia hacia el amarillo equivalente en ambos grupos y algo más de posicionamiento hacia el rojo por el primer grupo.

## 8.8 Análisis de Correlación entre Variables

Para determinar si existe una causalidad (correlación o dependencia entre pares de variables) es necesario desarrollar cálculos de coeficientes de correlación de Pearson por pares de variables, esta medida puede variar entre 0 y 1 cuando la relación entre las dos variables es directamente proporcional, mientras que si la relación es inversamente proporcional, el coeficiente varía entre 0 y -1.

A continuación se presenta la matriz de coeficientes de correlación junto con los p-value de una prueba de significancia de las correlaciones, tanto para PT como para Transmitancia.

**Gráfica 13: Correlaciones Zenostar No Coloreado**



**Tabla 15: Resumen de estadísticos para Zenostar no coloreado**

|                           | PT       | Transm.    | L*2       | a*3       | b*4       |
|---------------------------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Recuento                  | 10       | 10         | 10        | 10        | 10        |
| Promedio                  | 17,829   | 0,14       | 92,34     | -1,21     | 10,036    |
| Mediana                   | 18,14    | 0,14       | 92,45     | -1,25     | 10,035    |
| Desviación Estándar       | 1,48172  | 0,00816497 | 0,271621  | 0,166333  | 0,0164655 |
| Coefficiente de Variación | 8,31074% | 5,83212%   | 0,294153% | -13,7465% | 0,164064% |
| Mínimo                    | 14,94    | 0,13       | 91,8      | -1,4      | 10,01     |
| Máximo                    | 19,62    | 0,16       | 92,6      | -0,8      | 10,06     |

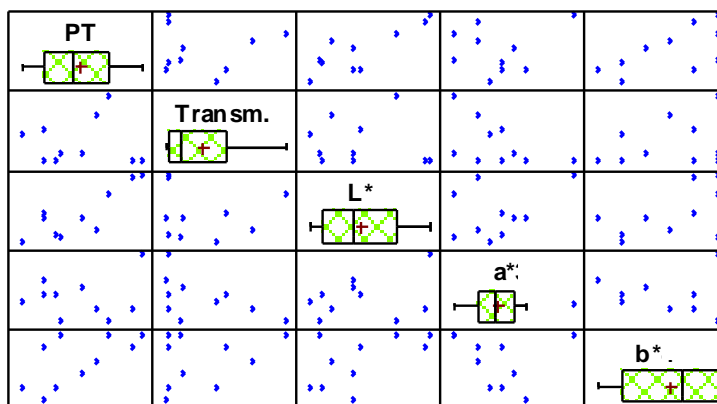
**Tabla 16: Correlaciones entre variables**

|         | PT      | Transm. | L*      | a*      | b*      |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PT      |         | -0,1791 | 0,6909  | 0,004   | 0,1251  |
|         |         | -10     | -10     | -10     | -10     |
|         |         | 0,6206  | 0,027   | 0,9912  | 0,7307  |
| Transm. | -0,1791 |         | 0,2004  | -0,3273 | -0,0826 |
|         | -10     |         | -10     | -10     | -10     |
|         | 0,6206  |         | 0,5788  | 0,356   | 0,8204  |
| L*      | 0,6909  | 0,2004  |         | -0,4574 | -0,0099 |
|         | -10     | -10     |         | -10     | -10     |
|         | 0,027   | 0,5788  |         | 0,1838  | 0,9783  |
| a*      | 0,004   | -0,3273 | -0,4574 |         | 0,3489  |
|         | -10     | -10     | -10     |         | -10     |
|         | 0,9912  | 0,356   | 0,1838  |         | 0,3231  |
| b*      | 0,1251  | -0,0826 | -0,0099 | 0,3489  |         |
|         | -10     | -10     | -10     | -10     |         |
|         | 0,7307  | 0,8204  | 0,9783  | 0,3231  |         |

La anterior tabla señala que no hay correlaciones significativas entre PT las demás variables; solo se presentó una correlación importante del 69.09% ( $R=-0.6909$ ) entre PT y  $L^*$ , indicando que a medida que aumenta PT,  $L^*$  también lo hace; lo anterior con una confianza del 95% ( $p\text{-value}=0.027$ ). En cuanto a la Transmitancia, no se presentó ninguna correlación significativa ni importante.

#### Correlaciones Zenostar Coloreado

**Gráfica 14: Correlaciones Zenostar coloreado**





**Tabla 17: Resumen de estadísticos para Zenostar coloreado**

|                          | PT       | Transm.  | L*       | a*        | b*       |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| Recuento                 | 10       | 10       | 10       | 10        | 10       |
| Promedio                 | 20,006   | 0,558    | 91,27    | -0,284    | 10,1     |
| Mediana                  | 19,775   | 0,44     | 91,1     | -0,285    | 10,15    |
| Desviación Estándar      | 1,36463  | 0,244304 | 1,0144   | 0,0298887 | 0,188562 |
| Coeficiente de Variación | 6,82108% | 43,7821% | 1,11142% | -10,5242% | 1,86695% |
| Mínimo                   | 18,09    | 0,35     | 90,1     | -0,32     | 9,8      |
| Máximo                   | 22,16    | 1,05     | 92,9     | -0,22     | 10,3     |

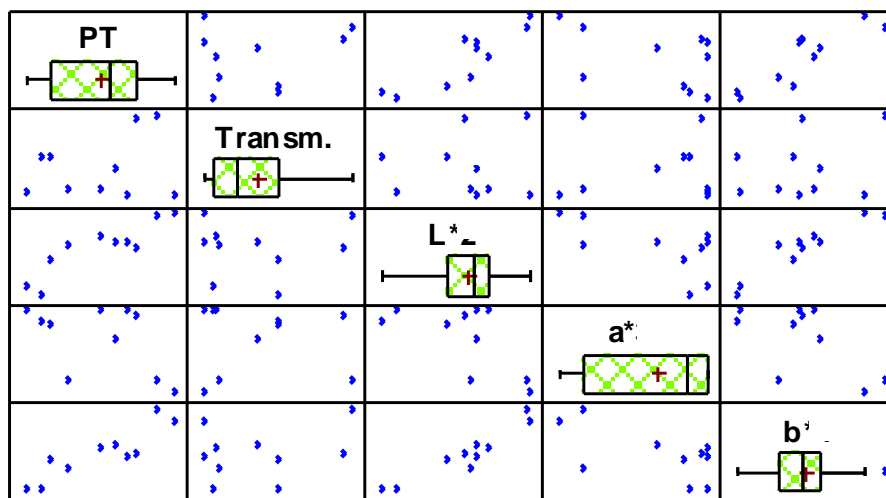
**Tabla 18: Correlación entre variables para Zenostar coloreado**

|         | PT     | Transm. | L*      | a*      | b*      |
|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| PT      |        | 0,0022  | 0,8256  | 0,1649  | 0,6304  |
|         |        | -10     | -10     | -10     | -10     |
|         |        | 0,9951  | 0,0033  | 0,6489  | 0,0507  |
| Transm. | 0,0022 |         | -0,0716 | -0,5277 | 0,2918  |
|         | -10    |         | -10     | -10     | -10     |
|         | 0,9951 |         | 0,8443  | 0,1169  | 0,4132  |
| L*      | 0,8256 | -0,0716 |         | 0,3401  | 0,5402  |
|         | -10    | -10     |         | -10     | -10     |
|         | 0,0033 | 0,8443  |         | 0,3363  | 0,1069  |
| a*      | 0,1649 | -0,5277 | 0,3401  |         | -0,2169 |
|         | -10    | -10     | -10     |         | -10     |
|         | 0,6489 | 0,1169  | 0,3363  |         | 0,5473  |
| b*      | 0,6304 | 0,2918  | 0,5402  | -0,2169 |         |
|         | -10    | -10     | -10     | -10     |         |
|         | 0,0507 | 0,4132  | 0,1069  | 0,5473  |         |

La anterior tabla señala una fuerte correlación del 82.5% ( $R=0.8256$ ) entre PT y L\*2, indicando que a medida que aumenta PT, el L\*2 también lo hace; lo anterior con una confianza del 95% ( $p\text{-value}=0.0033$ ).

En cuanto a la Transmitancia, solo se logró una correlación (negativa) del 52.7% ( $R=-0.5277$ ) la cual tiende a ser importante pero estadísticamente no es significativa ( $p=0.1169$ ). Otra correlación importante que se evidenció la cual fue entre L\*2 y b\*4, con coeficiente de correlación del 54.02% ( $p=0.106$ ) indicando que a medida que crece L\*2, también crece b\*4.

**Gráfica 15: Correlaciones del Disilicato de Litio e.max press**



**Tabla 19: Resumen de estadísticos para Disilicato de Litio e.max press**

|                                  | <i>PT</i> | <i>Transm.</i> | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>b*</i> |
|----------------------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| <i>Recuento</i>                  | 10        | 10             | 10        | 10        | 10        |
| <i>Promedio</i>                  | 24,953    | 1,653          | 93,91     | 0,2       | 16,82     |
| <i>Mediana</i>                   | 25,225    | 1,42           | 94,1      | 0,315     | 16,75     |
| <i>Desviación Estándar</i>       | 1,52329   | 0,705078       | 1,19764   | 0,239397  | 1,14095   |
| <i>Coefficiente de Variación</i> | 6,10465%  | 42,6544%       | 1,2753%   | 119,699%  | 6,78332%  |
| <i>Mínimo</i>                    | 22,78     | 0,99           | 91,8      | -0,2      | 15,2      |
| <i>Máximo</i>                    | 27,17     | 2,86           | 95,5      | 0,4       | 18,8      |

**Tabla 20: Correlaciones estadísticas del disilicato de litio**

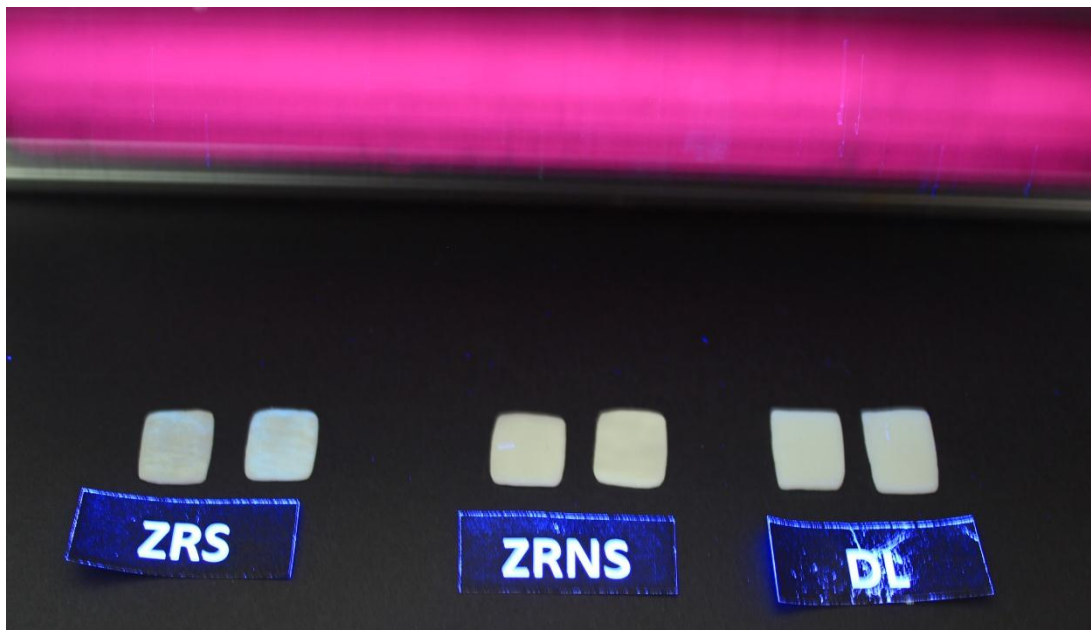
|                | <i>PT</i> | <i>Transm.</i> | <i>L*</i> | <i>a*</i> | <i>b*</i> |
|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| <i>PT</i>      |           | 0,2036         | 0,8882    | -0,4749   | 0,8855    |
|                |           | -10            | -10       | -10       | -10       |
|                |           | 0,5726         | 0,0006    | 0,1655    | 0,0007    |
| <i>Transm.</i> | 0,2036    |                | 0,0573    | -0,0353   | 0,2698    |
|                | -10       |                | -10       | -10       | -10       |
|                | 0,5726    |                | 0,875     | 0,9229    | 0,4509    |
| <i>L*</i>      | 0,8882    | 0,0573         |           | -0,6212   | 0,9447    |
|                | -10       | -10            |           | -10       | -10       |
|                | 0,0006    | 0,875          |           | 0,0552    | 0         |
| <i>a*</i>      | -0,4749   | -0,0353        | -0,6212   |           | -0,6134   |
|                | -10       | -10            | -10       |           | -10       |
|                | 0,1655    | 0,9229         | 0,0552    |           | 0,0593    |
| <i>b*</i>      | 0,8855    | 0,2698         | 0,9447    | -0,6134   |           |
|                | -10       | -10            | -10       | -10       |           |
|                | 0,0007    | 0,4509         | 0         | 0,0593    |           |

La anterior tabla señala una fuerte correlación del 88.8% ( $R = 0.888$ ) entre *PT* y *L\**, indicando que a medida que aumenta *PT*, también lo hace *L\**; lo anterior con una confianza del 95% ( $p\text{-value} = 0.0006$ ).

En cuanto a la Transmitancia, no se encontró una correlación importante o estadísticamente significativa con las demás variables. Una correlación (negativa) significativa se evidenció entre *L\** y *a\**, la cual fue del 62.12% ( $p = 0.0552$ ) indicando que a medida que crece *L\**, decrecerá *a\**. Igualmente se encontró una relación lineal positiva entre *L\** y *b\** con una correlación del 94.47% ( $p\text{-value} = 0.000$ ) indicando esto que a medida que aumenta *L\** también lo hace *b\**.

Por último se evidenció una relación lineal inversamente proporcional del 61.3% entre *a\** y *b\** ( $p\text{-value} = 0.0593$ ) señalando que a medida que aumenta *a\**, decrece *b\**.

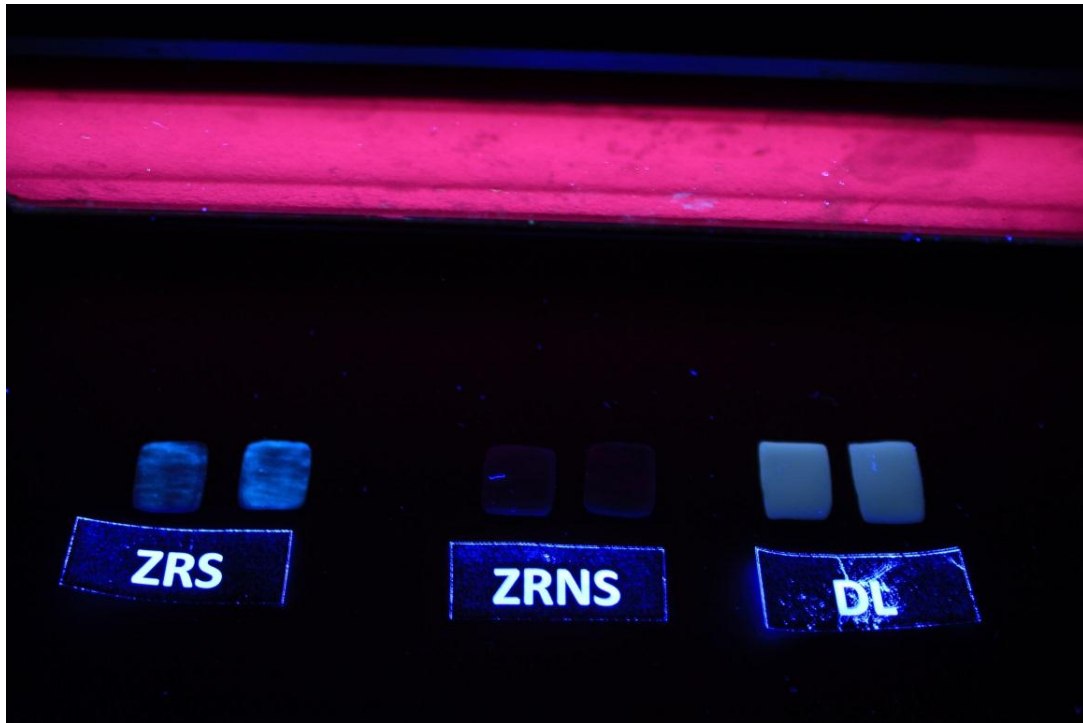
## 8.9 Fluorescencia



*Imagen 26: Fluorescencia de las muestras aún sin excitación*



*Imagen 27: Fluorescencia de las muestras al ser excitadas a 365 nm*



*Imagen 28: Fluorescencia de las muestras de cada grupo al ser excitadas a 365 nm.*

En cuanto a la evaluación de la fluorescencia se observa que el grupo del disilicato de litio (DL) presentó los mejores resultados de fluorescencia al ser excitado, mostrando una coloración mas uniforme en toda la muestra, de un tono entre blanco y azul que asemeja de manera considerable la fluorescencia de la estructura dental natural. El Zenostar no stains (ZRNS) presenta una excitación demasiado baja con respecto a lo que se puede esperar de un material cerámico y el Zenostar con Stains (ZRS) presentó también una fluorescencia importante, con un patrón mucho más irregular y un color tendiente hacia un azul más saturado que con respecto al disilicato de litio; en estas mismas muestras habían zonas de no fluorescencia embebidas dentro de todo el material, evidenciadas por espacios negros que no fueron excitados.

## 9. Discusión

Las casas fabricantes de materiales cerámicos diseñan para nuestra práctica diaria, materiales que se caracterizan entre otras cosas por ser de alta estética y de apariencia cercana a la de la estructura dental natural. A partir de esto ellos se esmeran en darnos la idea de que podemos trabajar con materiales que tienen unas propiedades ópticas muy favorables que se acercan al resultado final ideal de la restauración. Sin embargo, a pesar de que pueden existir relativas diferencias entre una marca y otra, o entre un tipo de cerámica y otro, no se establece en términos generales las discrepancias reales entre las características de un material en relación a los demás. Es por esto que este estudio fue realizado para comparar el grado de translucidez, opacidad y fluorescencia que ofrece el dióxido de zirconio monolítico frente a una cerámica con refuerzo de disilicato de litio comparándolas entre sí y a su vez, evaluando la influencia de caracterizar o no con pigmentos la superficie. Para esto se sometieron las muestras a la incidencia de la luz mediante un espectrofotómetro, obteniendo lecturas de transmitancia, reflectancia y valores de cromaticidad a lo largo del espectro de luz visible entre los 800 y 300 nm.

Fue necesario en este estudio para una mayor fiabilidad de los resultados que se contará con un espectrofotómetro adecuadamente calibrado y en óptimas condiciones, teniendo en cuenta que fuera empleado en ensayos previos similares tales como el de Kim<sup>56</sup> o el de Lee<sup>57</sup> en los cuales también se había usado una esfera de integración, garantizando una información más válida que la obtenida a partir de una evaluación visual<sup>58</sup>.

A partir de las lecturas obtenidas mediante este sistema es confiable hacer la relación entre la media de transmitancia y la translucidez ya que al aumentar el valor de una, también aumenta el valor de la otra; no se da de la misma forma para la reflectancia con la translucidez ya que al igual

que en la relación anterior, al aumentar el valor de una no necesariamente aumenta el valor de la otra. De todo esto entonces es concluyente decir que ambas relaciones no son directamente proporcionales al compararlas entre sí, es decir, que el valor de reflectancia no representa de manera confiable el comportamiento traslucido o no de un material tal cual lo señalan previamente otros autores como Kim<sup>56</sup>, Lee<sup>57</sup> o Wang.<sup>59</sup>

En base a estos estudios de Lee y a las revisiones de Johnston<sup>60</sup> relacionados a la escala CIEL\*a\*b\* bajo los parámetros del iluminante D65 y el observador a 2° estandarizados por la *Comission Internationale del' Eclairage* para la medición del color en un color vita A2 como el empleado en este estudio, arrojaron valores de 52.8, 0.0, 0.2 respectivamente. En otro estudio del mismo Lee<sup>61</sup> se encontraron valores para cerámicas de recubrimiento de 61.2–65.8, –0.5 a 1.1 and 8.8 a 12.3 respectivamente. Según el estudio de Pecho y col<sup>62</sup> los valores en dentina humana con un espesor de 0,5mm fueron de 73.3, 2.1 y 9.1. Para otros estudios se encontraron valores del CIE L\*a\*b\* en incisivos centrales maxilares, medidos in vivo por espectrofotómetro por Zhao y Zhu<sup>63</sup>, Odioso et al<sup>64</sup>, Rusell et al<sup>65</sup> y Hasegawa<sup>66</sup> de (51.48 ,0.62, 0.15), (69.3, 5.4, 18.7), (48.31, -0.91, 4.91) y (73.0, 3.5, 16.5) respectivamente. Para el estudio de Kim que es el único que evalúa zirconio monolítico y color A2 tal como el realizado por nosotros, los valores fueron considerablemente más altos 88.0 a 90.4, 2.7 a 1.0 y 7.1 a 18.3 según el número de capas de stains empleadas en el maquillaje. En el presente estudio los valores estuvieron acorde a los representados en todos los ensayos mencionados anteriormente: 75,50, -1,02, 4.21. Las discrepancias con otros estudios pueden estar asociadas a diferencias en el protocolo, al tipo de material estudiado, al espesor de las muestras y específicamente imposibilita una comparación directa con el estudio de Kim, teniendo en cuenta que en el diseño metodológico de nosotros no se consideraba una variable el número de capas, además el espesor empleado por nosotros estaba en 0,6mm y el de las muestras de Kim en 2,0m y esto innegablemente tiene manifestación en el resultado final del color.

El ideal de un material para restauraciones cerámicas es asemejarse a las características visuales que brinda la estructura dental. Teniendo en cuenta algunos estudios previos establecidos por Yu y col.<sup>67</sup> se cuenta con parámetros de translucidez para dentina y esmalte con 1mm de espesor en 16,4 y 18,1 respectivamente. Esto relacionado a los hallazgos de nuestro estudio resulta favorable para el dióxido de zirconio bajo ambas condiciones, ya que los valores de 17,8 para el

monolítico normal y 20 para el monolítico coloreado oscilan muy cercanos al esmalte y a las dentinas evaluadas. Sin embargo y siguiendo las consideraciones del estudio de Wang<sup>59</sup> es trascendental tener en cuenta las variaciones en cuanto a los espesores empleados. Es decir, que clínicamente existe la posibilidad de lograr una translucidez favorable manejando el dióxido de zirconio como el evaluado en este estudio a espesores similares o menores a 0,6 ya que como lo sustenta el mismo Wang, la translucidez del material es dependiente del espesor y aumenta a medida que el espesor disminuye.

Otro punto en la diferencia entre un color y otro está enfocado hacia cual debe ser el umbral aceptable para diferenciarlos visualmente, siguiendo los parámetros del CIEL\*a\*b\*. Algunos estudios como el de Jhonston y Kao<sup>68</sup>, Douglas<sup>69</sup>, Kuehni<sup>70</sup> ó Seghi<sup>71</sup> hacen referencia a valor específicos referenciados como  $\Delta E^*$ . Entre ellos se encuentran valores como 1  $\Delta E$ , 2  $\Delta E$ , 1,8  $\Delta E$  ó 2,6  $\Delta E$ . Sin embargo siguiendo el protocolo de nuestro artículo guía<sup>56</sup> en este aspecto hemos decidido emplear el valor de 3,7 $\Delta E$  de Jhonston y Kao para determinar el límite de diferenciación visible para el ser humano entre dos colores. En ese sentido la comparación entre los dos tipos de zirconia se dio en 2,15 ( $\Delta E^*_{ab} < 3,7 \Delta E^*_{ab}$ ), es decir, que presentaban diferencias que no son perceptibles para el ojo humano. Sin embargo es de rescatar que a pesar de que no se logra el umbral de diferenciación, la discrepancia más amplia se encuentra entre el disilicato y la zirconia no modificada con pigmentos ( $\Delta E^*_{ab} = 7,95$ ) variando notablemente para la zirconia con maquillaje con respecto al mismo material ( $\Delta E^*_{ab} 3,83$ ).

Los materiales empleados en odontología presentan cierto grado de translucidez, siempre buscando acercarse a las características ópticas de los dientes naturales; esto por ende, garantizaría una estética adecuada a cada restauración realizada. Es por esto que nuestro estudio busca acercarnos a establecer las diferencias en los grados de translucidez de dos tipos de cerámicas distintos y cómo influye en uno de ellos el hecho de manipular su apariencia a partir de pigmentos. Bajo esta premisa y teniendo en cuenta nuestros hallazgos, adicionar algún tipo de colorante sobre la superficie del material va a generar algunos cambios en la opacidad del material, esto quiere decir que la opacidad es una variable controlable mediante la aplicación de stains, más aun teniendo en cuenta que hablamos de un material que es ya de por si considerablemente opaco.



En un diente natural el color depende de 1) la transmisión especular de la luz a través del diente, 2) la reflexión especular en la superficie, 3) la reflexión difusa en la superficie y 4) la absorción y la dispersión de la luz dentro de los tejidos dentales<sup>46</sup>. A diferencia en una cerámica la cantidad de luz que es absorbida, reflejada y transmitida depende del contenido de cristal, su naturaleza química y el tamaño de las partículas.<sup>72</sup> Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este trabajo es notoria la diferencia en cuanto a disposición estructural de los dos materiales evaluados.

En cuanto a la correlación entre los valores de CIE  $L^*a^*b^*$  y translucidez es posible también fortalecer mediante este trabajo algunas de las hipótesis previas postuladas en otros estudios. En este proyecto al igual que en el de Cho<sup>73</sup> se encontró una correlación fuerte entre la translucidez y la luminosidad de todos los materiales, siendo notorio y confirmativo el aumento en el porcentaje de asociación entre estos dos, al pasar del grupo de Zenostar no coloreado (69%) al grupo de coloreados (88%). Teniendo en cuenta esto si se logra modificar la luminosidad de la muestra mediante pigmentos, es decir manipular el valor de CIE  $L^*$ , es posible modificar en algún grado -aún desconocido y que dependerá de otro estudio examinar- también la translucidez del material. Esto se hace significativo teniendo en cuenta la regresión lineal de la translucidez en función de cada material, en la cual es evidente una relación directamente proporcional entre el aumento de la luminosidad y la translucidez; necesariamente al aumentar una aumenta la otra. Se encontró además una relación importante entre los valores de translucidez y CIE  $b^*$  siendo una correlación importante en el grupo de Zenostar maquillado (63%) y una correlación fuerte para las muestras del e.max press; es decir que la translucidez también está asociada al movimiento del color del material en la escala preparada para el amarillo-azul; en este caso depende de la cantidad de amarillo que presente la muestra.

La variabilidad dentro del mismo grupo de Zenostar coloreado pone de manifiesto una condición muy importante. Es claro que siguiendo todo el marco metodológico de este estudio no hay un patrón definido en cuanto a la manera en la cual se deben maquillar las muestras. Durante la obtención del color final se emplearon los mismos pigmentos para todas ellas, con el mismo pincel y bajo las indicaciones de la casa fabricante, sin embargo la ausencia de estandarización en cuanto a la técnica de maquillaje como tal, relacionada al número, intensidad, intervalos y duración en la aplicación del pigmento entre otros aspectos, justifica la variabilidad de las mismas

en 43,78% en las mediciones de transmitancia. Esta justificación toma aún más fuerza si se tiene en cuenta que el grupo de Zenostar no coloreado fue manipulado en todo momento hasta la obtención del color final por medio del maquinado, lo cual asegura que las muestras correspondan de manera más exacta, expresándose en un coeficiente de variabilidad considerablemente bajo (5,83%). Estamos hablando entonces que la intención de modificar o no las propiedades ópticas del dióxido de zirconio monolítico corresponden a una condición totalmente operador-dependiente.

El dióxido de zirconio ha sido reportado como un material con altas propiedades mecánicas mejor incluso que cualquier otra cerámica de óxidos o cerámica vítrea. La disposición de su estructura lo hace un material compacto y muy sólido; sin embargo estas mismas ventajas a nivel funcional condicionan su estética ya que lo presentan generalmente como un material muy opaco<sup>74</sup>. Esta afirmación después de observar los resultados de Wang<sup>59</sup>, Kim<sup>56</sup>, y Baldissara<sup>75</sup> se puede considerar parcialmente cierta ya que el dióxido de zirconio en todos los casos evaluados permitió el paso de la luz en algún grado. Sin embargo los valores arrojados en el parámetro de translucidez al ser comparados con los del grupo control, en este caso el e.max press, muestran diferencias bastante amplias y significativas en cuanto a translucidez se refiere. Con respecto al estudio de Kurtulmus<sup>76</sup> quien al comparar tres sistemas a base de zirconia establece coincidencia con el presente trabajo, al concluir que a pesar de presentar una menor translucidez que el disilicato de litio este material presenta en algún grado una translucidez parcial; sin embargo contrasta con nuestros resultados al decir que la técnica de coloración no tiene un efecto significativo en la translucidez de la zirconia. A este respecto es contundente decir que a pesar de modificar en algo la translucidez de un material por medio de stains, esta obedece en una proporción muy importante a la estructura química *per se* del material.

La fluorescencia se define como el fenómeno físico que ocurre en menos de  $10^{-8}$  segundos, donde un material absorbe la luz ultravioleta y emite luz visible en el espectro azul<sup>77</sup>. Para nuestra evaluación descriptiva se ha empleado una parte del espectro del ultravioleta correspondiente al UV de onda larga, ya que la emisión (365nm) se encontraba dentro del rango de 320 y 400 establecido para este grupo. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la comparación de los tres grupos es evidente ver que el disilicato de litio logra las mejores características de fluorescencia para esta medición cualitativa. Se destaca este material por mostrar uniformidad de

coloración entre blanco y azul en toda la muestra, debido a que probablemente el agente de fluorescencia está inmiscuido desde el mismo momento del procesamiento de la cerámica. También es claro que al comparar el Zenostar sin colorear versus el Zenostar con stains hay una excitación significativa en este último grupo. La fluorescencia en cerámicas dentales se logra por la incorporación de pequeñas cantidades de óxidos inorgánicos de componentes raros de la tierra con propiedades fluorescentes<sup>78</sup>. Estos luminóforos se componen principalmente de cerio, europio, terbio, iterbio, disprosio y samario<sup>79</sup>. En algún momento se intentó la adición de uranio a la cerámica dental, sin embargo este se fue descartando a medida que se iba conociendo más de sus propiedades radiactivas y tóxicas<sup>80</sup>. Siendo así y tal como se revisó en el marco teórico de este trabajo, la adición de alguna o algunas de estas sustancias a los stains empleados para las muestras, genera un aumento importante en la fluorescencia del material. Además de esto, un argumento más que apoya la hipótesis en base a los stains como agentes fluorescentes, está relacionado con el patrón irregular de excitación evidenciado en la muestra, compatible con la ausencia de estandarización en la aplicación de los pigmentos como lo hablábamos anteriormente en este mismo apartado. En este sentido y siguiendo las instrucciones de El Meliegy y van Noort<sup>53</sup>, el dióxido de zirconio presenta una clara desventaja con respecto al disilicato de litio, ya que al igual que en la translucidez, el componente vítreo y en general la disposición química del material favorecen la captación de estos pigmentos en la estructura durante el procesamiento, lo que no sucede en las cerámicas a base de óxido de zirconio; por lo cual por ahora la única fluorescencia que puede adquirir este material se limita a lo que se logre mediante los stains y el glaseado en la etapa final de obtención de la restauración.

El Y-ZTP se caracteriza por ser un material altamente inestable en su microestructura, pasando de una fase tetragonal a una fase monoclinica inducida por estrés mecánico, químico o térmico, lo cual implica una disminución en la resistencia última del material. Sabiendo esto surge la idea de un posible cambio de fase del dióxido de zirconio a partir de la aplicación de stains en la superficie. Aboushelib y col<sup>81</sup>, presentaron un estudio en el cual pretendían evaluar la influencia de los stains en la resistencia a la fractura de la Zirconia, encontrando una diferencia significativa entre la cerámica con y sin pigmentos, indicando que la aplicación de estos puede afectar el comportamiento clínico de las restauraciones con este material; sin embargo se considera que a pesar de ser un indicio inicial interesante, aún no hay una evidencia clara para ser concluyentes acerca de este propósito.

A pesar de los aportes que pueda generar este trabajo en cuanto a modificación de las propiedades ópticas de las restauraciones en base a dióxido de zirconio monolítico, al igual que en otras restauraciones cerámicas el color final no depende solo de este parámetro. Es necesario tener en cuenta todo a lo que hicimos referencia en la parte conceptual, es decir: la técnica en la toma de color por parte del profesional, el respaldo cromático, el espesor requerido, el número de capas de pigmentos a emplear, la temperatura y el número de cocciones, el modo de terminado entre el glaseado químico y el pulido mecánico y el agente cementante entre lo más importante.

## 10. Conclusiones

Con las limitaciones que se encontraron para este estudio, se puede concluir:

1. Existen diferencias significativas entre los grupos de dióxido de zirconio monolítico sin colorear y dióxido de zirconio monolítico modificado con stains, teniendo en cuenta las tres variables evaluadas: translucidez, opacidad y fluorescencia.
2. Existen diferencias significativas entre los dos grupos de dióxido de zirconio monolítico y el *Gold Standar* de las restauración cerámica estética, el disilicato de litio en cuanto a las tres características evaluadas: translucidez, opacidad y fluorescencia; por lo cual se considera que las propiedades ópticas del dióxido de zirconio no se acercan a las del disilicato de litio.
3. La translucidez y la opacidad del dióxido de zirconio y del disilicato de litio tienen una asociación estadísticamente fuerte con el valor de luminosidad y una asociación estadísticamente importante con el valor de  $b^*$  según la escala del CIE  $L^*a^*b^*$ .
4. La fluorescencia del disilicato de litio corresponde de manera más aproximada a la presentada por la dentina y el esmalte que la evidenciada con el dióxido de zirconio; para la presentación de fluorescencia en este último material es indispensable la aplicación de stains.
5. La aplicación de stains es un factor importante en la consecución de adecuadas propiedades ópticas, pero es apenas una de las variables a tener en cuenta en el resultado final del color de una restauración.

## 11. Recomendaciones

A continuación de este estudio se sugiere la ejecución de otros estudios en los que sea posible tener en cuenta la evaluación de algunas variables importantes en el resultado estético final de una restauración cerámica, tales como la técnica en la toma de color, el respaldo cromático, el espesor del material, el número de capas de pigmentos, la estandarización de la técnica, la temperatura y el número de cocciones, el modo de terminado entre el glaseado químico y el pulido mecánico así como el agente cementante a ser empleado. Es importante además recomendar la búsqueda de mayor información en cuanto al comportamiento mecánico ante el estrés del material, así como de algunos indicios de problemas en su biocompatibilidad.

En cuanto a la aplicación clínica de esta cerámica se sugiere a pesar de la mejora en las propiedades ópticas por la modificación con stains, que la indicación del dióxido de zirconio sea para restauraciones individuales en el sector posterior, en donde las condiciones de una preparación dental convencional para una restauración totalmente cerámica están limitadas por el poco espacio disponible; aquí las propiedades mecánicas del material podrían favorecer esta situación. No se recomienda el uso de estas restauraciones en el sector anterior, ya que sus propiedades ópticas no se aproximan a las de las cerámicas vítreas, con plena indicación para este escenario.

## 12. Bibliografía

---

1. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial (Review). *Biomaterials*. 1999. vol. 20, no 1, p. 1-25.
2. Kelly JR, Bennetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aus Dent J*, 2011; 56 Suppl 1:84-96
3. Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, Koidis P, Strub JR. Zirconia in Dentistry: Part 2. Evidence-based Clinical Breakthrough. *The European Journal of Esthetic Dentistry*. 2009. Volume 4. Number 4. 348-80
4. Komine F, Blatz M, Matsumura H. Current status of zirconia-based fixed restorations. *Journal of Oral Science*, 2010. Vol. 52, No. 4, 531-539
5. Garvie R, Hannink R, Pascoe R. Ceramic steel? *Nature* 1975, 258, 703-704.
6. Suttor D, Bunke K, Hoescheler S, Hauptmann H, Hertlein G. LAVA – the system for all-ceramic ZrO<sub>2</sub> crown and bridge frameworks. *Int J Comput Dent* 2001, 4, 195-206.
7. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peile CN. Mechanical properties and short-term in vivo evaluation of yttrium oxide partially stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res* 1989; 23: 45-61

- 
8. Pecho Oscar. Caracterización óptica y estructural de las cerámicas en base a policristales tetragonales de zirconia estabilizados con Ytria” [Tesis Doctoral]. Granada. Editorial de la Universidad de Granada. 2012
  9. Kobayashi K, Kuwajima H, Masaki T. Phase change and mechanical properties of  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  solid electrolyte after aging. *Solid State Ionics* 1981;3:489–93
  10. Sato T, Shimada M. Crystalline phase-change in yttria-partially-stabilized zirconia by low-temperature annealing. *J Am Ceram Soc* 1984;67:C212–3.
  11. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 2008;24(3):299–307
  12. Guess PC, Bonfante EA, Coelho P, Ferencz JL, Silva NR. All ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dent Clin North Am* 2011;55:333–52
  13. Covacci V, Bruzzese N, Maccauro G, et al. In vitro evaluation of the mutagenic and carcinogenic power of high purity zirconia ceramic. *Biomaterials* 1999; 20:371–376.
  14. Silva VV, Lameiras FS, Lobato ZI. Biological reactivity of zirconia-hydroxyapatite composites. *Journal of Biomedical Materials Research* 2002;63:583–90.
  15. Terry DA, Leinfelder KF, Geller W. Aesthetic & restorative dentistry. Material selection & technique. *Stilwater (MN): Everest Publishing Media; 2009*
  16. Miyazaki T, Nakamura T, Matsumura H, Ban S, Kobayashi T. Current status of zirconia restoration. *Journal of Prosthodontic Research*. 2013. Volume 57, Issue 4. Pages 236–261



- 
17. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: A laboratory study. *Int J Prosthodont* 2001;14:231–238.
18. Guazzato M, Proos K, Quach L, Swain M. Strength, reliability and mode of fracture of bilayered porcelain/ zirconia (Y-TZP) dental ceramics. *Biomaterials* 2004; 25:5045–5052.
19. Matinlinna JP, Heikkinen T, Ozcan M, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of resin adhesion to zirconia ceramic using some organosilanes. *Dent Mater* 2006;22:824–831.
- <sup>20</sup> Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, et al. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide–based ceramic fixed partial dental prostheses: A prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent* 2006;96:237–244.
21. Tinschert J, Schulze KA, Natt G, et al. Clinical behaviour of zirconia-based fixed partial dentures made of DC-Zirkon: 3-year results. *Int J Prosthodont* 2008;21:217–222.
22. Sailer I, Fehér A, Filser F, Gauckler LJ, Lüthy H, Hammerle CH. Five-year clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2007;20:383–388.
23. Raigrodski AJ, Hillstead MB, Meng KG, Chung KH. Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2012;107:170–7.
24. Fischer J, Stawarczyk B, Tomic M, Strub JR, Hammerle CH. Effect of thermal misfit between different veneering ceramics and zirconia frameworks on in vitro fracture load of single crowns. *Dent Mater J* 2007;26:766–72.
25. Kuriyama S, Terui Y, Higuchi D, Goto D, Hotta Y, Manabe A, et al. Novel fabrication method of zirconia restorations. Bonding strength of machinable ceramic to zirconia with resin cements. *Dent Mater J* 2011;30:419–24.

- 
26. Sorensen JA, Cruz M, Mito WT, Raffeiner O, Meredith HR, Foser HP. A clinical investigation on three-unit fixed partial dentures fabricated with a lithium disilicate glass–ceramic. *Pract Perio Aesthet Dent* 1999;11:85–106.
27. Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six-all-ceramic systems. Part I: core materials. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 4-9.
28. Wang, F., Takahashi, H., & Iwasaki, N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2013. 110(1), 14-20.
29. Raigrodski,A.J .,Chiche,G.J., Potiket,N., Hochstedler,J.L., Mohamed,E., Billiot,S., Mercante,D.E., 2006. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. *J.Prosthet.Dent.*96, 237–244.
30. Rekow, E.D., Silva, N.R., Coelho, P.G., Zhang, Y., Guess, P., Thompson, V.P., Performance of dental ceramics: challenges for improvements. *J. Dent. Res.* 2011, 90, 937–952.
- 31 Mochales, C., Maerten, A., Rack, A., Cloetens, P., Mueller, W.D., Zaslansky, P., Fleck, C., Monoclinic phase transformations of zirconia-based dental prostheses, induced by clinically practised surface manipulations. *Acta Biomater.* 2011, 7, 2994–3002.
32. Pollington S. Novel glass-ceramics for dental restorations. *J Contemp Dent Pract.* 2011 Jan 1;12(1):60-7.
33. Höland, W., Schweiger, M., Frank, M. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed. Mater Res.* 2000, 53 , 297–303

- 
34. El-Meliegy , Van Noort R. Lithium Disilicate Glass Ceramics. En El-Meliegy , Van Noort R Glasses and Glass Ceramics for Medical Applications, , 1ra Ed, New York, Springer, 2012, pp 209-218
35. Peall, G.H.: Lithium disilicate containing glass ceramics some of which are self glazing. 1993,EP 536 479 A1.
36. Chu S, Devigus A, Mieleszko A. Fundamentals of color. New York Ed. Quintessence bbn ooks. 2004.
37. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry; The science and strategies. Int J Periodontics Restorative Dent 2003;23:467-79.
38. Sulikowski, Yoshida. Surface Texture: A systematic approach for accurate and effective communication. Quintessence Dent Tech 2003;26:10-20
- <sup>39</sup> Baltzer A, Kauffman –Jinoian V. La determinación del color del diente. QuintessenzZahntech 2004; 30(7): 726-40
40. Kourtis, S. G.; Tripodakis, A. P. & Doukoudakis, A. A. Spectrophotometric evaluation of the optical influence of different metal alloys and porcelains in the metal-ceramic complex. J Prosthet Dent, 2004 Vol. 92, No. 5, pp. 477-485
41. Heffernan, M. J.; Aquilino, S. A.; Diaz-Arnold, A. M.; Haselton, D. R.; Stanford, C. M. & Vargas, M. A. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: Core and venner materials. J Prosthet Dent, 2002, Vol. 88, No. 1, pp. 10-15.
42. Vanini, L. Light and color in anterior composite restorations. Pract Periodontics Aesthetic Dent, 1996 Vol. 8, No. 7 pp. 673-682.

- 
43. Monsenego, G.; Burdairon, G. & Clerjaud B. Fluorescence of dental porcelain. *J Prosthetic Dent*, 1993 Vol. 69, No. 1, pp 106-13
44. Cho, M. S.; Yu, B. & Lee, Y. K. Opalescence of all-ceramic core and veneer materials. *Dent Mater*, 2009 Vol. 25, No. 6 pp. 695-702
45. Volpato, C. A. M.; Monteiro Jr, S.; Andrada, M. A.; Fredel, M. C.; Petter, C. O. Optical influence of the type of illuminant, substrates and thickness of ceramic materials. *Dent Mater*, 2009, Vol. 25, No. 1 pp. 87-93.
46. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *Journal of Dentistry*, Volume 32, Supplement, 2004, Pages 3–12
47. Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. *J Dent* 2009; 37(Suppl. 1):e15–20.
48. Vichi A, Louca C, Corciolani G, Ferrari M. Color related to ceramic and zirconia restorations: a review. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):97-108.
49. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* 2004;24:222–31
50. Öngül D, Şermet B, Balkaya MC. Visual and instrumental evaluation of color match ability of 2 shade guides on a ceramic system. *J Prosthet Dent*. 2012 Jul;108(1):9-14
51. Monros G. Badenes A. García A, Tena MA. El color de la cerámica: nuevos mecanismos en pigmentos para los nuevos procesados en la industria cerámica. 1ra Ed, España, 2003. Pp 19

- 
52. DCMA, Classification and Chemical description of the Mixed Metal Oxide Inorganic Coloured Pigments. Metal Oxides and Ceramics Colors Subcommittee. 2<sup>a</sup> ed, Dry color manufacturer's Ass, Washington, DC, 1982.
53. El-Meliegy, Van Noort R. Development of Colour and Fluorescence in Medical Glass Ceramics. In: El-Meliegy, Van Noort R. Glasses and Glass Ceramics for Medical Applications, 1<sup>st</sup> Ed, New York, Springer, 2012, pp 209-218
54. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Colorimetry, CIE 015. 3rd ed. Vienna: CIE Central Bureau; 2004.
55. Johnston WM, Ma T, Kienle BH. Translucency parameter of colorants for maxillofacial prostheses. *Int J Prosthodont* 1995;8:79-86.
56. Kim H. K., Kim S.H. Effect of the number of coloring liquid applications on the optical properties of monolithic zirconia. 2014 Volume 30, Issue 9, Pages e229–e237.
57. Lee Y, Kim S, Powers J, Changes in Translucency of Resin Composites after Storage in Salivary Esterase. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2005, 17: 293–302.
58. Volpato C, Fredel M, Philippi AL, Petter C. Ceramic materials and color in dentistry. WilfriedWunderlich. InTech; 2010
59. Wang Fu, Takahashi H, Iwasaki N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses. *J Prosthet Dent* 2013; 110(1): 14-20
60. Johnston W. Color measurement in dentistry. *Journal of dentistry*, 2009, 37, se2 – e6.
61. Lee YK, Cha HS, Ahn JS. Layered color of all-ceramic core and veneer ceramics. *J Prosthet Dent* 2007; 97:279–86.

- 
62. Pecho OE, Ghinea R, Ionescu AM, Cruz Cardona J, Paravina R, Mar Pérez M. Color and translucency of zirconia ceramics, human dentine and bovine dentine. *J Dent* 2012; 40 Suppl.2:e34–40.
63. Zhao Y, Zhu J. In vivo color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *The Chinese Journal of Dental Research* 1998;3:49–51.
64. Odioso LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic, behavioural, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 2000;21(Suppl 29):S35–S41.
65. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW. In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *Journal of Oral Rehabilitation* 2000;27:786–792.
66. Hasegawa A, Motonomi A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color of natural tooth crown in Japanese people. *Color Research and Application* 2000;25:43–48.
67. Yu B, Ahn JS, Lee YK. Measurement of translucency of tooth enamel and dentin. *Acta Odontol Scand* 2009; 67:57-64.
68. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 1989;68:819–22.
69. Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG. Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent* 2007;97: 200–8.
70. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl* 1979; 4:83–91.

- 
71. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68:1760–4.
72. Brodbelt RH, O'Brien WJ, Fan PL. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res* 1980;59:70–5.
73. Cho MS, Lee YK, Lim BS, Lim YJ. Changes in optical properties of enamel porcelain after repeated external staining. *J Prosthet Dent* 2006;95:437–43.
74. Antonson SA, Anusavice KJ. Contrast ratio of veneering and core ceramics as a function of thickness. *Int J Prosthodont* 2001; 14:316–20
75. Baldissara P, Llukacej A, Ciocca L, Valandro FL, Scotti R. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *J. Prosthet Dent* 2010; 104:6–12.
76. Kurtulmus –Yilmaz S. Ulusoy M. Comparison of the translucency of shaded zirconia all-ceramic systems. *J Adv Prosthodont*. 2014 Oct; 6(5): 415–22
77. Lee YK, Lu H & Powers JM Fluorescence of layered resin composites. *Journal of esthetic and restorative dentistry* 2005. 17(2) 93–101.
78. Takahashi Y col. Fluorescence Intensity of Resin Composites and Dental Tissues: A comparative Study. *Operative Dentistry*, 2008, 33-2, 189–195
79. Peplinsky DR, Wozniak WT & Moser JB. Spectral studies of new luminophors for dental porcelain. *Journal of Dental Research* 1980, 59 (9) 1501–1506
80. Baran GR, Fluorescence of dental ceramics by means of non-radioactive materials. *Dtsch Zahnarztl Z*. 1977 Dec 32 (12): 962–4

- 
81. Aboushelib M y col. The influence of pigments on the slow crack growth in dental zirconia. dental materials 2012, 28, 410–415.